ARCHIVES

DE

PARASITOLOGIE

PUBLIÉES PAR

RAPHAËL BLANCHARD

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS,
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

EXTRAIT

Les tirés à part ne peuvent être mis en vente

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES MYCOSES DANS LES VOIES RESPIRATOIRES.

RÔLE DU RÉGIME HYGROMÉTRIQUE DANS LA GENÈSE DE CES MYCOSES

PAR

le Dr Pierre LESAGE

Professeur-adjoint à l'Université de Rennes,
Professeur suppléant à l'École de médecine.

PARIS

F. R. DE RUDEVAL, EDITEUR

4, RUE ANTOINE DUBOIS (VI)

1904

COMMONWEALTH MYCOLOGICAL INSTITUTE
28 FEB 1955

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DES MYCOSES

dans les Voies respiratoires

RÔLE DU RÉGIME HYGROMÉTRIQUE

DANS LA GENÈSE DE CES MYCOSES

PAR

le Dr Pierre LESAGE

Professeur-adjoint à l'Université de Rennes,

Professeur suppléant à l'École de médecine.

PARIS

F. R. de RUDEVAL, Éditeur

4, Rue Antoine Dubois (VIe)

—

1904

Je dédie ce travail à M. Liard, *Vice-Recteur de l'Académie de Paris, qui voulut bien, en 1898, prêter une oreille attentive à l'exposé de mes théories et, alors qu'il était Directeur de l'enseignement supérieur, m'encourager à les vérifier expérimentalement en m'en fournissant les moyens.*

Je le dédie encore à la mémoire de mon père, Joseph-Charles Lesage, *qui fut mon premier maître et mon unique initiateur aux mille petits travaux manuels qui s'exécutent dans l'exercice des divers métiers de la campagne. Dans la dernière année de son existence, bien que je fusse jeune encore, il voulut m'apprendre, disait-il, tout ce qu'il savait de ces métiers ; il n'y parvint point, mais sa patience et sa bienveillante tenacité crèèrent et développèrent des aptitudes que j'ai été très heureux d'appliquer dans maintes circonstances et, en particulier, dans l'exécution des nombreuses expériences qui sont décrites dans ce mémoire.*

Je remercie M. le Professeur R. Blanchard *pour l'hospitalité très large qu'il a accordée à mon travail, dans ses* Archives de Parasitologie.

Rennes, le 15 Octobre 1903.

Extrait des *Archives de Parasitologie*, VIII, n° 3, page 353, année 1904.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DES

MYCOSES DANS LES VOIES RESPIRATOIRES

RÔLE DU RÉGIME HYGROMÉTRIQUE DANS LA GENÈSE DE CES MYCOSES

PAR

le Dr Pierre LESAGE

Professeur-adjoint à l'Université de Rennes,
Professeur suppléant à l'École de médecine.

INTRODUCTION.

Je désire démontrer, dans ce travail, que des spores de champignons, fixées sur la paroi interne de la trachée ou des bronches, germent moins rapidement que dans l'air saturé de vapeur d'eau à la même température ou, peut-être même, ne germent pas du tout dans quelques cas, parce que le régime hygrométrique des voies respiratoires est défavorable à cette germination, ou peut le devenir ; et, comme conséquence, que ce régime hygrométrique a une influence très nette sur l'établissement des mycoses et doit être pris en sérieuse considération quand on étudie la genèse des mycoses respiratoires.

J'ai été amené à faire cette démonstration de la manière suivante :

Nous savons que, dans de nombreuses circonstances, les spores pénètrent dans les voies respiratoires où elles peuvent germer (1). Il en résulte la formation d'un mycélium dont le développement est encore mal connu, mais qui peut aller jusqu'à la formation d'une fausse membrane de plusieurs centimètres de longueur (2), constituant une mycose plus ou moins dangereuse. En effet, cette fausse membrane est un obstacle au mouvement de l'air dans la respiration ; elle peut donner naissance à des spores (3) qui,

(1) P. Lesage, Germination des spores de Champignons chez l'Homme. *Assoc. franç. pour l'avanc. des sc.*, Congrès de Montauban, 1902.

(2 et 3) Devillers et Rénon, Bronchite membraneuse chronique aspergillaire primitive. *Bull. de la Soc. méd. des hôpit. de Paris*. 1er déc. 1899.

détachées, peuvent pénétrer plus avant dans les voies respiratoires et, soit en germant, soit par leur seule présence (1), produire des mycoses ou des pseudo-tuberculoses mycosiques des poumons, etc..

Puisque les spores peuvent déterminer, en germant, des affections plus ou moins graves, il y a un intérêt à connaître, aussi exactement que possible, les agents qui favorisent la germination, pour les combattre, et les agents défavorables à cette germination, pour conserver ou même renforcer leur action. Or, les agents locaux, capables d'agir sur cette germination, sont assez nombreux, les uns chimiques, les autres physiques ou mécaniques. L'étude de tous ces agents et celle de leur action véritable me paraissent très délicates et ne peuvent être terminées qu'après de longues recherches.

Dans ces conditions, il ne me semble pas pratique de s'attaquer à tous ces agents en même temps. Je crois donc que ce n'est qu'après avoir étudié chacun d'eux isolément, si c'est possible, qu'il sera temps de discuter utilement la résultante de leur action commune et de chercher les moyens de faire varier leur action particulière pour modifier avantageusement cette résultante.

C'est dans cet esprit que, parmi les agents physiques, j'ai isolé le régime hygrométrique des voies respiratoires, pour en faire l'étude et en tirer une contribution à la genèse des mycoses de ces voies.

Je l'ai donc étudié séparément et attentivement, et j'ai acquis la connaissance de détails beaucoup plus nombreux et plus précis que ceux que nous connaissions sur ce régime jusqu'en ces derniers temps (2).

Ensuite, utilisant mes connaissances déjà acquises (3) sur la germination de certaines spores dans l'air humide et celles que le

(1) Th.-C. Macé, Étude sur les mycoses expérimentales. *Archives de Parasitologie*, VII, p. 313, 1903.

(2) P. Lesage, *De la possibilité de quelques mycoses dans la cavité respiratoire basée sur l'hygométrie de cette cavité.* Thèse de la Fac. de méd. de Paris, octobre 1899. — Un hygromètre respiratoire. *C. R. de l'Ac. des sc.*, 4 mai 1903. — Un hygromètre respiratoire et ses applications. *La Nature*, 1er août 1903. — Nouveau modèle de l'hygromètre respiratoire du Dr Pierre Lesage. Emploi en médecine. *Assoc. franç. pour l'av. des sc.*, Congrès d'Angers, 1903.

(3) P. Lesage, Recherches physiologiques sur les Champignons. *C. R. de l'Acad. des sc.*, 12 mars 1894. — Recherche de l'état hygrométrique limite nécessaire à

raisonnement m'a mis dans la nécessité d'acquérir (1), j'ai combiné ces diverses sortes de connaissances pour rechercher théoriquement l'attitude d'une de ces spores placées sur un point de la paroi interne des voies respiratoires, sans me préoccuper, en dehors du régime hygrométrique, des autres agents locaux capables d'exercer une action quelconque sur la germination.

Le résultat de cette étude théorique a été d'un intérêt tel que l'étude expérimentale de vérification s'est imposée.

En effet, l'étude théorique m'amenait à conclure que la germination des spores pourrait très bien ne pas se faire parce que le régime hygrométrique des voies respiratoires serait défavorable ; ou, quand elle se fait, que cette germination subirait des retards assez considérables qui seraient sous la dépendance de circonstances intérieures ou extérieures à l'homme, modificatrices du régime hygrométrique et modifiables elles-mêmes par l'homme dans une certaine mesure.

Cette conclusion prend une très grande importance parce que, d'une part, la non-germination des spores est capitale dans l'établissement des mycoses et, d'autre part, les retards modifiables à notre gré sont encore extrêmement intéressants à considérer. Si nous avons les moyens d'empêcher la germination, l'intervention supprimera la mycose ; si nous avons ceux de la retarder, l'intervention pourra supprimer indirectement cette même mycose en permettant aux agents locaux chimiques, physiques ou mécaniques défavorables, d'exercer plus longtemps et plus sûrement leur action nuisible sur les spores avant qu'elles germent et avant qu'une mycose puisse s'établir sous la forme de fausse membrane.

J'ai donc cherché à savoir par l'observation (2) et par l'expé-

la germination des spores du *Penicillium glaucum*. *Bull. de la Soc. sc. et méd. de l'Ouest*, 1er trimestre 1895. — Recherches expérimentales sur la germination des spores de *Penicillium glaucum*. *Ann. des sc. nat.*, Botanique, (8e), I, 1895, p. 309. — Rapports entre la germination des spores de Champignons et l'humidité de l'air. *Ass. franç. pour l'avanc. des sc.* Congrès de Nantes, séance du 8 août 1898.

(1) P. Lesage, Germination des spores de *Penicillium* dans l'air humide. *C. R. de l'Ac. des sc*, 15 juillet 1901. — Germination des spores de *Penicillium* dans l'air alternativement sec et humide. *Ass. franç. pour l'av. des sc.*, Congrès d'Ajaccio, 1901. — Germination des spores de *Penicillium* sur l'eau. *C. R. de l'Ac. des sc.*, 4 nov. 1901.

(2) P. Lesage, Germination des spores de Champignons chez l'Homme. *Ass. franç. pour l'av. des sc.*, Congrès de Montauban, 1902.

rience (1), si les spores qui pénètrent dans les voies respiratoires de l'homme et de quelques animaux, germent ou ne germent pas ; et si, quand elles germent, la germination subit des retards appréciables lorsqu'on modifie les circonstances extérieures ou les circonstances intérieures qui font varier le régime hygrométrique.

J'ai fait ces observations et ces expériences avec les matériaux le plus facilement utilisables dans les conditions de travail limitées qui me sont faites. Malgré cela, elles ont montré assez nettement que, les conditions extérieures et intérieures à quelques oiseaux venant à changer, le régime hygrométrique des voies respiratoires peut être suffisamment modifié pour provoquer des retards appréciables dans la germination de spores fixées sur des points bien déterminés de la trachée et entraver dans une certaine mesure le développement du mycelium, et, par conséquent, l'établissement d'une mycose.

C'est ce qui a confirmé mes vues théoriques et achevé la démonstration que le régime hygrométrique des voies respiratoires est un facteur qui doit être pris en très grande considération dans l'étude de la genèse des mycoses respiratoires.

Je dois dire, avant de terminer, que cette conclusion ne supprime, pas plus qu'elle n'atténue, l'action spéciale de tous les autres agents locaux qui peuvent intervenir au début ou dans le cours du développement des mycoses, pour le favoriser ou pour s'y opposer. Elle résume simplement l'étude de l'action d'un seul agent, le régime hygrométrique, dans des conditions particulières, quand cette action est appliquée en des points soustraits autant que possible à celle des autres agents et choisis, ainsi que les conditions extérieures, conformément à mes vues théoriques pour en vérifier le bien fondé et mettre en relief tout l'intérêt qui doit s'attacher à cet unique agent. Par conséquent, je ne puis affirmer que les phénomènes se passeraient, dans la trachée normale, de la même manière que dans mes expériences. D'autre part, je ne veux pas, par là, diminuer l'importance que j'ai essayé de donner au régime hygrométrique, je désire seulement mettre les choses bien au point pour qu'on ne me fasse pas dire plus que ne disent les expériences.

(1) P. Lesage, Germination des spores de *Sterigmatocystis nigra* dans la trachée de quelques oiseaux. *C. R. de l'Ac. des sc.*, 20 oct. 1902.

Malgré ces restrictions tout aussi loyales que les résultats de mes expériences sont sincères, j'ose espérer que le présent travail offrira quelque intérêt à ceux qui voudront bien le lire. En tout cas, il renferme la description d'expériences très nombreuses qu'il est bon de faire connaître.

J'ai divisé ce mémoire en tenant compte de l'ordre de succession des idées que je viens de présenter ; il comprendra donc les cinq chapitres suivants :

Hygrométrie des voies respiratoires de l'Homme ;

Germination des spores dans l'air humide ;

Sur le degré de possibilité de la germination des spores dans les voies respiratoires de l'Homme ;

Germination des spores dans les voies respiratoires de l'Homme et des animaux ;

Résumé et conclusions.

HYGROMÉTRIE DES VOIES RESPIRATOIRES DE L'HOMME

L'air des poumons n'est jamais complètement saturé de vapeur d'eau à sa température ; dans l'air expiré, la tension de la vapeur d'eau augmente de la première tranche sortie à la dernière tranche qui sort dans l'expiration ; elle varie avec la quantité de vapeur d'eau dans l'air extérieur et avec l'état du sujet.

Nous définirons l'hygrométrie des voies respiratoires de la manière suivante : mesure de la quantité ou de la tension de vapeur d'eau dans l'air des voies respiratoires.

A première vue, cette mesure paraît difficile à faire. En effet, rappelons que l'air de la cavité respiratoire est brassé trente-deux fois par minute, en moyenne, par les mouvements d'inspiration et d'expiration ; que l'inspiration normale introduit 500^{cc} d'air dans lequel la quantité de vapeur d'eau peut varier de 0 à une valeur assez considérable ; que nous ne savons pas comment ces 500^{cc} se mélangent aux 2.500^{cc} de la capacité pulmonaire, pas plus que nous ne connaissons exactement les quantités de vapeur d'eau cédées par la paroi et par ces 2.500^{cc} aux 500^{cc} de l'air courant.

Tous ces phénomènes semblent se compliquer les uns les autres.

Pour que la mesure fût simple, il faudrait admettre que l'air de l'inspiration prend instantanément la température du corps humain et se sature instantanément de vapeur d'eau ; dans ce cas, la tension de cette vapeur serait la tension maxima correspondant à cette température; mais on sait depuis longtemps que l'air expiré a une température un peu inférieure et variable avec la température extérieure.

L'hygrométrie des voies respiratoires se présente donc à nous comme un ensemble assez difficile à analyser et qui demande à être étudié par parties. C'est ce que nous allons faire. Une division de cet ensemble s'offre tout naturellement à l'esprit, si l'on envisage la respiration normale comme Viault et Jolyet (1).

Mesure dans l'air expiré,
Mesure dans l'air inspiré,
Mesure dans l'air de la capacité pulmonaire.

Suivons cette division et étudions d'abord l'hygrométrie de l'air qui se déplace dans la cavité respiratoire et, ensuite, l'hygrométrie d'un point de la paroi dans cette cavité.

HYGROMÉTRIE DE L'AIR EXPIRÉ

Si nous cherchions à nous représenter les diverses manières d'être possibles de l'air expiré, nous pourrions en concevoir méthodiquement un assez grand nombre; j'en choisirai cinq seulement. Mais, avant de les indiquer, entendons-nous bien sur le mot « circonstances » que je vais employer.

Supposons que l'humidité de l'air expiré puisse varier, la variation pourra être due à des causes internes ou externes, à des circonstances internes ou à des circonstances externes ; circonstances internes au sujet, états du sujet, exemples : repos, activité, veille, sommeil, etc... ; circonstances externes au sujet, exemples : température, humidité de l'air extérieur, etc...

Voyons ces cinq manières d'être possibles.

L'air expiré peut être saturé de vapeur d'eau à sa température ou n'être pas saturé à cette température. Nous avons là deux catégories très distinctes de manières d'être.

(1) Viault et Jolyet, *Physiologie humaine*, 1894.

Dans la première catégorie, l'air peut être saturé à la température du corps humain, c'est la première manière (I); ou à une température plus basse que celle du corps humain, c'est la deuxième manière (II).

Dans la seconde catégorie, l'air n'est pas saturé, mais il renferme de la vapeur d'eau dont la tension peut être constante, c'est-à-dire indépendante des circonstances, c'est la première manière de la seconde catégorie et la troisième de l'ensemble (III); ou être variable, c'est-à-dire indépendante des circonstances. Dans ce dernier cas, nous pouvons encore avoir deux manières différentes : dans la première, la tension est variable suivant les circonstances, mais reste la même dans toutes les tranches d'air pour une même circonstance, c'est la quatrième manière (IV) ; dans la seconde, la tension, variable suivant les circonstances, est encore variable d'une tranche à l'autre dans la même circonstance, c'est la cinquième manière (V).

Le tableau suivant résume ces différences :

L'air expiré est :	saturé à	la température du corps humain		I
		une température inférieure à celle du corps humain		II
	non saturé; la tension de vapeur d'eau est :	constante		III
		variable et :	la même dans toutes les traches d'air	IV
			variable d'une tranchée à l'autre	V

Cherchons maintenant à savoir si ces manières d'être sont réalisées.

La première suppose que l'air inspiré a pris instantanément la température du corps humain et s'est complètement saturé de vapeur d'eau. Nous pouvons l'éliminer tout de suite parce que les mesures faites depuis longtemps et que j'ai répétées, montrent que l'air expiré possède une température inférieure à celle du corps humain et, par conséquent, qu'il ne peut être saturé à cette température.

En ce qui concerne les autres manières d'être, nous ne pouvons savoir si elles sont réalisées on non, à en juger par ce que nous trouvons dans les livres.

Ainsi nous lisons dans Arthus (1) : « L'air expiré est saturé à la

(1) Arthus, *Éléments de physiologie*, 1902, p. 265.

température du corps si la respiration est normale, presque saturé si la respiration est précipitée ». D'après cet auteur, la première manière, peut-être la seconde et peut-être la troisième se réaliseraient. Nous voyons par ailleurs, comme dans Gad et Heymans (1) que l'air expiré est toujours saturé de vapeur d'eau ou, comme dans Beaunis (2), Waller (3), Hédon (4), etc.., qu'il est saturé de vapeur d'eau. D'après ces auteurs, ce serait peut-être la première, peut-être la seconde manière qui se réaliserait. Dans Viault et Jolyet (5), on voit que l'air sort saturé de vapeur d'eau à la température de 34°; ici ce serait la deuxième manière. D'après Frédéricq et Nuel (6), l'air expiré est à peu près saturé de vapeur d'eau, ce qui indiquerait peut-être la troisième manière ou l'une des deux premières.

Mais ce sont là des citations prises dans des livres dont les auteurs n'ont pas fait d'études spéciales sur le sujet. En voici une dernière de ce genre puisée dans Milne-Edwards (7) : « l'observation prouve que la saturation de l'air expiré n'est pas toujours complète, et les évaluations obtenues de la sorte laisseraient souvent beaucoup à désirer ».

Si nous nous adressons aux auteurs qui ont voulu étudier expérimentalement la question, nous nous trouvons encore arrêtés et dans l'impossibilité de nous prononcer.

Par exemple, dans Moleschott (8), nous trouvons la conclusion suivante : « Dans la plupart des cas, l'air expiré n'est pas saturé de vapeur d'eau, bien que parfois la saturation puisse se produire ». Cette conclusion est loin d'être très précise. Mais il n'en pouvait être autrement. En effet, si on lit le mémoire de cet auteur, on y relève des erreurs et des causes d'erreurs assez nombreuses. Ce qui m'a frappé surtout, c'est que l'attention de ce physiologiste ne se soit pas arrêtée d'une façon toute spéciale sur son tableau des

(1) Gad et Heymans, *Traité de physiologie humaine*, 1895.
(2) Beaunis, *Physiologie humaine*, 1888.
(3) A. Waller, *Éléments de physiologie humaine*, traduction de 1898.
(4) Hédon, *Précis de physiologie*, 1901.
(5) Viault et Jolyet, *Physiologie humaine*, 1894.
(6) Frédéricq et Nuel, *Physiologie humaine*, 1894.
(7) H. Milne-Edwards, Leçons de physiologie, II, p. 619, 1867.
(8) Moleschott, Versuche zur Bestimmung des Wassergehalts der vom Menschen aus geathmeten Luft. *Holländische Beiträge zu den anatomischen und physiologischen Wissenschaften*, p. 86, 1848.

nombres qui indiquent les poids de vapeur d'eau dans 2420^{cc} d'air saturé à 37° et dans le même volume d'air expiré. En effet, théoriquement, les poids de vapeur d'eau dans l'air saturé à la même température, 37°, devraient conserver la même valeur ; expérimentalement on pourrait obtenir des valeurs un peu différentes, oscillant autour de la valeur réelle dans la limite des erreurs d'expérience, mais non des valeurs différentes comme 74 et 40.

Il est vrai que l'auteur signale une cause d'erreur dans les condensations préalables de ses appareils. C'est, en effet, une grosse cause d'erreur ; elle est suffisante, à mon avis, pour que les nombres obtenus ne puissent être comparables. C'est elle qui, dans la sixième expérience, l'amène à donner 57^{mmg} pour la quantité de vapeur d'eau dans l'air expiré et 42^{mmg} pour celle qui est contenue dans l'air saturé à 37°, d'après cela, l'air expiré renfermerait plus de vapeur d'eau que l'air saturé à la même température, ce qui est impossible.

Pour ces diverses raisons, nous ne pouvons nous en rapporter aux mesures de Maleschott et, par conséquent, tirer quoi que ce soit de sa conclusion.

Gréhant (1) a fait aussi des expériences pour connaître le degré de saturation de l'air expiré. Son appareil n'est pas exempt de causes d'erreurs, il me paraît peu maniable pour fournir des données exactes. La conclusion de ces expériences est la suivante : « L'air expiré est sensiblement saturé à sa température ». Nous n'avons là rien de précis qui nous permette de faire un choix dans les diverses manières d'être possibles de l'air expiré.

Dans ces conditions, j'ai dû chercher moi-même à préciser davantage cette hygrométrie en essayant de mesurer la tension de vapeur d'eau dans l'air expiré. Après bien des essais, j'ai inventé un instrument qui m'a donné de bons résultats et que j'ai appelé hygromètre respiratoire.

J'en ai construit trois modèles qui m'ont donné des résultats concordants, bien que j'aie modifié ces modèles successivement pour les rendre plus maniables et pour éliminer le plus possible de causes d'erreur.

(1) Gréhant, *Manuel de physique médicale*, 1869, p. 208.

J'ai décrit le premier modèle en 1899 (1), le deuxième en mai 1903 (2) ; voyons la description du troisième modèle qui a été présenté à l'Académie de médecine le 23 juin 1903 (3).

C'est un hygromètre à condensation que l'on introduit dans un canal transparent et continuant les voies respiratoires, hygromètre et canal ayant une température que l'on peut apprécier à chaque

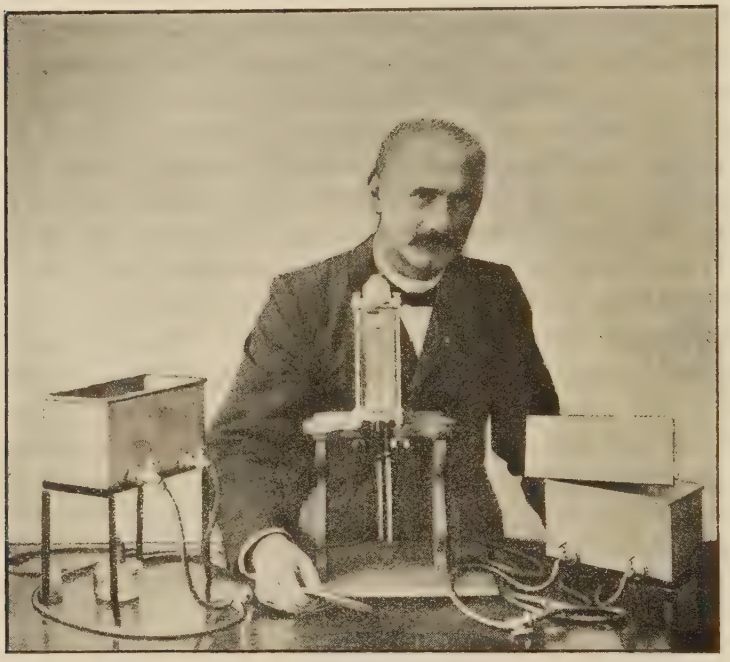

Fig. 1

instant et faire varier indépendamment à l'aide de courants d'eau chaude ou d'eau froide venant par des tubes de caoutchouc, de cuves de zinc placées à des niveaux peu différents. Le tout constitue un système de vases communiquants où la circulation se fait

(1) P. Lesage, *De la possibilité de quelques mycoses dans la cavité respiratoire basée sur l'hygrométrie de cette cavité.* Thèse de la Fac. de méd. de Paris, octobre 1899.

(2) P. Lesage, Un hygromètre respiratoire. *C. R. de l'Acad. des sc.*, 4 mai 1903.

(3) P. Lesage, Mesure de la tension de vapeur d'eau. *Bull. de l'Acad. de méd.*, 23 juin 1903. — Nouveau modèle de l'hygromètre respiratoire du Dr Pierre Lesage. Emploi en médecine. *Ass. franç. pour l'av. des sc.*, Congrès d'Angers, 1903.

grâce à cette différence des niveaux et à la manœuvre convenable de robinets placés sur le parcours des tubes de caoutchouc.

Il comprend donc dans son ensemble qui est représenté dans la figure 1 :

Une pièce principale ;

Un bâti en bois sur lequel cette pièce principale est fixée pour donner de la stabilité ;

Deux cuves de zinc, l'une à eau chaude, l'autre à eau froide et

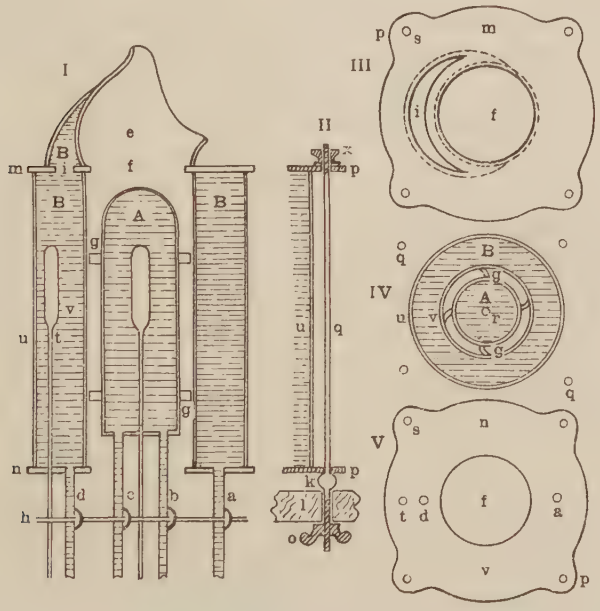

Fig. 2. — I. Coupe longitudinale schématisée de la pièce principale. — II. Une tige d'assemblage q. — III. Plaque de cuivre supérieure m. — IV. Coupe transversale passant par g'. — V. Plaque de cuivre inférieure n.

les tubes de caoutchouc avec leurs robinets reliant ces cuves à la pièce principale.

Etudions plus particulièrement cette pièce principale.

Elle est formée de deux parties :

1° Un ensemble transparent destiné à prolonger les voies respiratoires et dans lequel on introduit l'hygromètre ;

2° L'hygromètre proprement dit.

1° La première partie (fig. 2, I) est un canal à double paroi,

formant une cavité annulaire B, limitée latéralement par deux manchons de verre d'inégal diamètre u et v, mais de même longueur; et, en haut et en bas, par deux plaques de cuivre m et n.

Ces deux plaques arrondies (III et V), sont percées à leur centre d'un trou f dont le diamètre est un peu inférieur au diamètre du petit manchon v ; elles sont munies de quatre oreillettes p, perforées en s, et servant à assembler les deux manchons de verre à l'aide d'écrous x (II) se vissant en haut, sur quatre tiges métalliques q passées dans les oreillettes et dont la partie inférieure porte un bouton d'arrêt k. Comme elles sont doublées d'une épaisse lame de caoutchouc, on peut les rapprocher suffisamment pour assurer une fermeture hermétique de la cavité B.

En outre, la plaque inférieure n (V) présente trois trous : deux pour le passage des tubes a et d par lesquels on fera arriver l'eau chaude ou l'eau froide des cuves ; le troisième, pour recevoir un thermomètre t, recourbé pour mieux lire la graduation ou gradué avec des chiffres renversés pour le même motif. La plaque supérieure m (III), est percée d'une ouverture i en quartier de lune, par laquelle la cavité B communiquera avec la cavité périphérique B' du capuchon e.

Ce capuchon est destiné à établir autant que possible la continuité des voies respiratoires avec le canal transparent. Il est constitué par deux lames métalliques convenablement moulées pour prendre la forme du nez qu'il recevra ; toutes les deux sont soudées à leur base sur la plaque de cuivre m et suivant les contours indiqués par les deux lignes ponctuées de III ; la lame intérieure fait tout le tour du trou f, l'extérieure, moins développée, est soudée à la première en haut et sur les côtés, pour limiter la cavité périphérique B' dans laquelle on fera arriver de l'eau chaude comme dans B, afin de donner à l'ensemble la température du corps et éviter ainsi les condensations préalables que Gréhant, pas plus que Moleschott, n'avaient supprimées.

Cette première partie se fixe sur la plate forme du bâti en bois, par les prolongements inférieurs des tiges d'assemblage, à l'aide d'écrous o (II)

2° La deuxième partie est l'hygromètre proprement dit. C'est un cylindre de cuivre A, creux, à paroi mince, argenté et bruni extérieurement. Sa partie supérieure est complètement close ; sa

partie inférieure est fermée par une rondelle métallique soudée au cylindre, mais percée de trois trous : deux recevant les tubes b et c, par lesquels on amènera l'eau chaude ou l'eau froide des cuves, pour faire varier la température de A ; le troisième laissant passage au termomètre p, qui donnera cette température à chaque instant. Pour la facilité de la lecture, ce thermomètre p, comme le thermomètre t, sera avantageusement recourbé ou gradué avec des chiffres renversés.

Cet hygromètre est introduit dans la cavité f f par l'ouverture inférieure ; il est maintenu en place, horizontalement et verticalement, par huit ailettes minces, faisant ressort, soudées en deux groupes g et g' sur la longueur de A (I et IV), et par une petite barre transversale h, glissée dans des boucles convenablement soudées aux tubes b et c, a et d.

Les tubes a et b sont reliés à la cuve à eau chaude, les tubes c et d, à la cuve à eau froide, à l'aide de tubes de caoutchouc munis de robinets. Quand l'ensemble est bien rempli d'eau, on peut amener de l'eau chaude pour élever la température, ou de l'eau froide pour l'abaisser, soit dans A seul, soit dans B et B' à la fois. Pour cela il suffit de placer les cuves à deux niveaux convenables, un peu différents, et de manœuvrer les robinets d'une façon concordante, quelle que soit d'ailleurs la position du bâti et de l'hygromètre qu'il porte.

C'est avec cet hygromètre respiratoire que l'on mesure la tension de la vapeur d'eau dans l'air expiré et voici de quelle manière.

On donne à B et B' la température 38 ou 40° pour éviter les condensations préalables, on introduit le nez dans le capuchon e, on respire et on regarde l'image du tube A dans un miroir tenu à la main ou fixé sur un support convenablement placé. Si la température de A est suffisamment basse, on voit un nuage se former dans l'expiration et disparaître dans l'inspiration. En maniant convenablement cuves et robinets, on élève progressivement la température de A jusqu'au moment où le nuage ne se forme plus dans l'expiration. On note la température donnée par le thermomètre p. En faisant la manœuvre inverse, on abaisse la température jusqu'au moment où le nuage réapparaît et on lit à nouveau la température de p. On obtient ainsi deux valeurs dont on prend la moyenne ; cette moyenne est la température à laquelle est maxima

la tension actuelle et cherchée de la vapeur d'eau dans l'air expiré. On trouve cette tension dans les tables des forces élastiques maxima.

Ce mode opératoire suppose qu'une seule personne fait fonction d'opérateur et de sujet. Dans le cas de deux personnes, le miroir devient inutile; l'opérateur manœuvre les cuves, les robinets et observe directement le tube A; le sujet ayant placé son nez dans le capuchon e, n'a qu'à respirer sans autre préoccupation.

Une remarque importante s'impose dès maintenant en ce qui concerne la signification des mesures faites avec cet hygromètre. Ce que l'on note, c'est la tension maxima de la vapeur d'eau correspondant à la température indiquée par le thermomètre p, au moment où, par exemple, la buée disparaît quand on élève progressivement la température de A. Cela veut dire que l'air qui passe sur A renferme de la vapeur d'eau à cette tension et qu'il n'y en a pas à une tension plus forte, mais n'indique nullement qu'il n'y en a pas à une tension plus faible. En d'autres termes cet instrument, employé comme il a été dit, ne mesure que la tension de vapeur d'eau la plus élevée dans l'air exploré, que cet air soit également ou inégalement humide dans ses diverses parties.

Voyons maintenant ce qu'il m'a donné dans la recherche des diverses manières d'être possibles de l'air expiré.

Voici une première mesure confirmée par beaucoup d'autres qu'il est inutile de citer. L'air expiré ayant une température de 35°,6 (1), la tension de la vapeur d'eau la plus élevée dans cet air expiré normalement a été de $36^{mm}9$, mesurée en colonne de mercure. Cette première mesure élimine les deux premières manières d'être. En effet, à 35°6, la tension maxima est de $43^{mm}1$, à la température du corps humain elle est encore plus élevée. L'air expiré n'est donc pas saturé de vapeur d'eau à la température du corps humain, ni à sa propre température ; il n'est pas saturé de vapeur d'eau.

Bien que non saturante, la vapeur d'eau de l'air expiré pourrait peut-être avoir une valeur constante, c'est-à-dire être indépendante des circonstances. Mais il n'en est rien. En effet, si nous faisons varier ces circonstances, nous obtiendrons des valeurs différentes.

(1) Cette température a été mesurée par la méthode de Gréhant ; Cf. Recherches physiques sur la respiration de l'Homme. *Journal de l'anat. et de la physiol.*, 1864.

Voici, à titre d'indication, deux groupes de mesures correspondant aux deux sortes de circonstances, les internes et les externes.

Circonstances internes : état de repos, état d'activité. J'ai mesuré d'abord la tension de la vapeur d'eau dans ma respiration après un long temps de repos, et j'ai obtenu la valeur $36^{mm}9$; puis, après dix minutes d'exercices d'assouplissement, j'ai trouvé $38^{mm}4$. Donc la tension de la vapeur d'eau dans l'air expiré varie avec l'état du sujet.

Circonstances externes. — Air sec, air humide. — Je me suis confectionné deux grands récipients dont les parois étaient garnies de chlorure de calcium dans l'un, de mousse humide dans l'autre, et j'ai mesuré la tension de vapeur d'eau de l'air expiré dans ma respiration normale faite d'abord dans l'un des récipients et, immédiatement après, dans l'autre ; voici les résultats :

Dans le récipient à chlorure de calcium où l'hygromètre enregistreur indiquait un état hygrométrique de 0,50, la tension mesurée a été de $36^{mm}7$; dans le récipient à mousse humide où l'hygromètre enregistreur marquait 0,75, la tension a été de $38^{mm}6$. La tension de vapeur d'eau dans l'air expiré varie suivant qu'on respire dans l'air sec ou dans l'air humide.

Cette tension varie donc avec les circonstances internes et externes à l'homme.

Cette conclusion élimine la troisième manière d'être.

Il reste à dire quelle est celle des deux dernières manières qui est réalisée. Cela revient à répondre à cette question : La vapeur d'eau contenue dans l'air expiré est-elle également distribuée dans ses diverses portions ou tranches, ou possède-t-elle une tension variable d'une tranche à l'autre ?

Pour répondre à cette question, il m'a suffi de mesurer cette tension en fractionnant l'air de l'expiration. Dans tous les cas, le nez étant placé dans le capuchon de l'hygromètre, j'ai inspiré par le nez, mais j'ai expiré par le nez et par la bouche d'après les trois modes suivants :

1° J'ai expiré par le nez la première portion de l'air qui a passé sur l'hygromètre pour y mesurer la tension ; j'ai expiré la deuxième portion par la bouche en dehors de l'appareil.

2° J'ai expiré la première portion par la bouche et la deuxième

portion par le nez pour la faire passer dans l'hygromètre et y mesurer la tension.

3° J'ai fait l'expiration normale par la bouche et j'ai envoyé, par le nez, l'air de l'expiration forcée dans l'hygromètre pour y mesurer la tension de vapeur d'eau.

Voici un exemple de ces mesures prises successivement sur la même personne et dans un temps très court.

Expiration normale	1re portion.	34mm16
	2e portion.	38mm03
Expiration normale prolongée ou expiration forcée		41mm80

Voici encore des mesures prises dans l'air sec et dans l'air humide qui font ressortir la même différence entre l'expiration normale et l'expiration forcée :

	Air sec Et. hyg. = 0,50	Air humide Et. hyg. = 0,75
Expiration normale.....	36mm7	38mm6
Expiration forcée..	40mm2	41mm4.

D'après ces mesures, c'est donc la cinquième manière d'être qui est réalisée et nous donne la conclusion de ces recherches : l'air expiré n'est saturé de vapeur d'eau ni à la température du corps humain, ni à sa température ; et la tension de cette vapeur, variable avec les circonstances externes et internes de l'homme, diffère d'une tranche à l'autre dans la même circonstance et augmente de l'entrée de la cavité respiratoire vers la profondeur.

Nous avons là une distribution de la vapeur d'eau dans l'air expiré qui est rationnelle et s'explique de la même manière que la distribution de la température et de l'acide carbonique dans cet air.

En effet, l'air expiré est composé, pour une grande part, de l'air qui vient d'être inspiré ; or, cet air est inspiré à la température extérieure et ne prend pas instantanément la température du corps humain, de même qu'il ne se sature pas instantanément, pas plus que l'acide carbonique contenu dans l'air de la capacité pulmonaire n'y diffuse instantanément. Pour ces raisons, l'air expiré peut se concevoir aisément comme constitué par une série de tranches dans lesquelles la température comme la tension de la vapeur d'eau, comme la teneur en acide carbonique, diffère d'une tranche à l'autre et augmente de la tranche qui est à l'entrée, dans

le nez, aux tranches de plus en plus éloignées vers la profondeur de la cavité respiratoire.

Le tableau suivant donne le rapprochement de mesures caractéristiques de ces trois états de l'air dans l'expiration. Il contient, pour la vapeur d'eau, quelques-uns des chiffres précédents ; pour la température, des chiffres obtenus avec l'appareil Gréhant (1) ; pour la teneur en acide carbonique, des chiffres fournis par le dosage avec la potasse de cet acide carbonique dans l'air fractionné et expiré dans des sacs de caoutchouc.

	Température de l'air expiré, la température extér. étant 15°.	Tension de la vapeur d'eau dans l'air expiré.	Teneur en acide carbonique dans l'air expiré.
Expiration normale 1e portion. *a*	32°9	34mm16	2,030 °/₀
Expiration normale 2e portion. *b*	35,0	38mm03	4,020 °/₀
Expiration prolongée... *c*	35,6	41mm80	4,773 °/₀

Je dois dire que ces chiffres ne sont comparables que dans la même colonne, car les expériences dans lesquelles ils ont été obtenus ont été faites à des dates différant d'une colonne à l'autre et assez éloignées, par conséquent, dans des circonstances qui ne doivent pas être comparées. Je ne les ai rapprochés que pour montrer a < b < c dans chacun des trois cas. D'ailleurs, à part la tension de vapeur d'eau dont la mesure m'est bien personnelle, je n'ai fait ces mesures qu'après Gréhant et d'autres physiologistes, pour la température, et qu'après Vierordt (2) pour la teneur en acide carbonique.

On serait peut-être tenté de tirer de ce rapprochement une question concernant la saturation de l'air expiré et qui serait la suivante. Puisque la température de l'air expiré augmente de l'entrée vers la profondeur des voies respiratoires, et puisque cet air renferme de la vapeur d'eau à une tension croissant dans le même sens, ne se pourrait-il pas que l'air expiré fût toujours saturé à des températures de plus en plus basses de la profondeur, vers l'entrée ?

(1) Gréhant, Recherches physiques sur la respiration de l'Homme. *Journal de l'anat. et de la physiol.*, 1864, p. 523.

(2) Vierordt, *Anatomische Daten und Tabellen*, 2e édition, 1893. — Cf. aussi P. Lesage. Distribution de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique dans l'air expiré. *Bull. de la Soc. sc. et méd. de l'Ouest*, 1903.

Pour répondre à cette question, reportons-nous à la première mesure de tension :

Température de l'air expiré, 35°6.

Tension maxima de la vapeur d'eau à 35°6, 43^{mm}1.

Tension mesurée par l'hygromètre respiratoire 36^{mm}9.

La tension allant en augmentant de la périphérie vers la profondeur et l'hygromètre mesurant seulement la tension la plus élevée, 36^{mm}9 est la tension de la vapeur d'eau dans la dernière tranche de l'air expiré. D'autre part, la température allant en augmentant, elle aussi, de la périphérie vers la profondeur, au moins dans l'air expiré si l'appareil de Gréhant mesurait la température la plus élevée, 35°6 serait la température de la dernière tranche d'air expiré. Dans ce cas, cette dernière tranche ne pourrait pas être saturée puisque la tension de vapeur d'eau y est de 36^{mm}9, au lieu d'être de 43^{mm}1, tension maxima pour 35°6. Mais l'appareil de Gréhant ne mesure qu'une sorte de moyenne des températures et, par conséquent, qu'une température un peu plus basse que celle de la dernière tranche. Donc cette dernière tranche a une température un peu plus élevée que 35°6 ; si elle n'est pas saturée à 35°6, à fortiori, elle ne peut l'être à une température plus élevée.

Le même raisonnement s'appliquerait aux mesures faites sur la première portion de l'expiration normale et, d'une manière générale, à toutes les tranches explorées.

Nous pouvons donc dire que l'air expiré n'est jamais complètement saturé de vapeur d'eau à sa température, qu'il contient de la vapeur d'eau dont la tension va en augmentant des narines vers la profondeur de la cavité respiratoire et varie de la tension dans l'air extérieur jusqu'à une tension que mesure l'hygromètre respiratoire dans l'expiration normale ou dans l'expiration forcée. Mais cette tension n'est pas constante puisqu'elle varie avec les circonstances internes et externes à l'homme, de telle sorte qu'elle ne peut s'exprimer par un nombre constant. Il faudrait la mesurer dans toutes les circonstances possibles et imaginables ; je ne l'ai pas fait parce que j'ai obtenu une allure générale dont je puis me contenter pour mes vues théoriques. D'ailleurs cette allure générale, bien définie, représente une indication beaucoup plus précise que tout ce que nous possédions jusqu'à présent sur l'hygrométrie de l'air expiré.

HYGROMÉTRIE DE L'AIR INSPIRÉ

L'air inspiré renferme de la vapeur d'eau qui, à l'entrée des narines, possède la même tension que celle de l'air extérieur et peut se mesurer avec les hygromètres ordinaires. En pénétrant dans les voies respiratoires, cet air se charge de plus en plus de vapeur, à mesure que la première tranche s'enfonce davantage. En même temps, sa température augmente. Si on se base sur les données fournies par l'étude de l'air expiré, l'air inspiré ne se sature pas instantanément de vapeur d'eau, pas plus qu'il ne prend instantanément la température du corps humain, pas plus que l'acide carbonique n'y diffuse instantanément. D'autre part, l'air expiré n'étant jamais saturé à sa température, on est tenté de dire qu'il en est de même pour l'air inspiré dans son mouvement de translation ; mais il est difficile sinon impossible d'en faire la preuve directe.

HYGROMÉTRIE DE LA CAPACITÉ RESPIRATOIRE

Nous ne possédons rien sur cette hygrométrie. Il est probable que l'air de cette région est très près de la saturation à sa température ; mais je me refuse à croire que la saturation y soit rigoureusement complète. Dans les poumons, l'air est au contact de cellules vivantes et de liquides qui ne sont pas de l'eau pure, qui doivent agir comme des solutions salines et n'admettre à leur surface qu'une tension un peu inférieure à la tension maxima ; si faible que soit la diminution de tension, elle doit exister. Les mêmes raisons ne pouvant être données pour la température, nous pouvons admettre que, dans les parties profondes des alvéoles, l'air prend la température de la paroi. Dans ces conditions, l'air ne serait donc jamais complètement saturé de vapeur d'eau à sa température.

Après tout, l'hygrométrie nous intéresse moins dans cette région que nous ne pouvons explorer et où nous ne ferons point porter nos expériences.

HYGROMÉTRIE D'UN POINT DE LA PAROI

Pour acquérir une notion utile de cette hygrométrie, il est nécessaire d'établir des régions dans les voies respiratoires ; prenons, par exemple, la division suivante :

1° Région occupée, avant l'expiration, par l'air qui va être expiré ;

2° Région plus profonde.

La première région, qui est d'une capacité de 500^{cc} environ, comprend les fosses nasales, le pharynx, le larynx, la trachée, les grosses bronches et une portion des alvéoles; ce qui nous intéresse surtout, ce sont les fosses nasales, le pharynx, le larynx, la trachée et les bronches. Limitons-nous à l'étude de ce qui peut se passer dans ces seuls organes.

Considérons un point de leur paroi interne et cherchons à connaître le régime hygrométrique auquel il peut être soumis dans la respiration.

Il y a, dans l'état actuel de nos connaissances, impossibilité matérielle de connaître à chaque instant, la tension de la vapeur d'eau dans chaque tranche d'air qui frôle un point déterminé de la paroi de la cavité respiratoire ; impossibilité parce qu'on sait seulement que cette tension augmente avec la profondeur, sans connaître rigoureusement la loi de cette variation et parce qu'elle est encore sous la dépendance des circonstances ; impossibilité parce que, même connaissant cette loi, nous ne pourrions l'appliquer rigoureusement, sachant que, dans la veine d'air qui se déplace, nous devrions encore tenir compte de la différence des vitesses de la partie axiale et de la partie périphérique de cette veine.

Nous ne pouvons donc rechercher que des limites approximatives entre lesquelles peut varier la tension de la vapeur d'eau dans les tranches qui frôlent le point considéré.

Distinguons, conformément à ce programme, trois points principaux dans la respiration normale :

A, à l'entrée des fosses nasales ;

B, à l'entrée des bronches dans les poumons ;

C, en un point intermédiaire entre A et B.

Pour simplifier le texte et éviter des redites, appelons :

f_1, la tension de la vapeur d'eau dans l'air extérieur ;

f_2, une tension intermédiaire entre f_2 et f_3 ;

f_3, la tension de la vapeur d'eau mesurée avec l'hygromètre respiratoire dans l'expiration normale, c'est la tension de la dernière tranche de l'air expiré normalement ;

f_4, une tension intermédiaire entre f_3 et f_5 ;

f_5, la tension de la vapeur d'eau mesurée avec l'hygromètre respiratoire dans l'expiration forcée ; c'est la tension de la dernière tranche d'air de l'expiration forcée.

A. *A l'entrée des fosses nasales.* — Un point A, placé à l'entrée des voies respiratoires, est frôlé par de l'air inégalement chargé de vapeur d'eau dans les deux mouvements d'inspiration et d'expiration.

Dans l'inspiration, la tension de vapeur d'eau ne change pas, c'est celle de la vapeur d'eau dans l'air extérieur, c'est-à-dire f_1, ou plus exactement, la tension de la vapeur d'eau étant f_3 à la fin de l'expiration normale, elle saute brusquement à f_1, sans transition, quand l'inspiration commence et conserve cette valeur jusqu'à la fin de cette inspiration.

Dans l'expiration, elle change beaucoup ; ses limites sont les suivantes : limite inférieure, f_1 ; limite supérieure, f_3, entre lesquelles le passage se fait progressivement.

Elle varie donc de f_1 à f_3 ; cela veut dire que, dans l'expiration, des tranches d'air chargées de vapeur d'eau à toutes les tensions comprises entre f_1 et f_3, passent successivement sur le point A.

Au total, dans la respiration normale, il y a alternance de deux courants d'air, l'un relativement sec, contenant de la vapeur d'eau à la tension f_1, l'autre de plus en plus chargé de vapeur d'eau à une tension augmentant de f_1 à f_3. Ce qu'on peut représenter par :

Variation { brusque de f_3 à f_1, dans l'inspiration ;
progressive de f_1 à f_3, dans l'expiration.

B. *A l'entrée des bronches dans les poumons.* — Pour comprendre entre quelles limites varie la tension de la vapeur d'eau dans les tranches qui frôlent le point B, il faut considérer attentivement la marche des mouvements de la respiration.

Prenons la série des phénomènes à la fin de l'expiration normale.

A ce moment, la région AB est remplie par une partie de l'air qui serait expulsé dans l'expiration forcée si on la pratiquait, mais seulement par une partie de cet air. En effet, cette région a une capacité moindre que 500^{cc}, par conséquent plus petite que les 1500^{cc} qui mesurent le volume de l'air de l'expiration forcée. Par conséquent, la dernière tranche de cette expiration forcée et dans laquelle la tension est voisine de f_5. est beaucoup plus profonde qu'en B. Il en résulte que la tranche d'air qui est actuellement en B, contient de la vapeur d'eau à une tension qui est inférieure à f_5 et que nous appelons f_4.

Dans l'inspiration, l'air qui frôle B renferme de la vapeur d'eau à une tension qui diminue de f_4 à une valeur que nous appelons f_2, et qui est plus petite que f_3, mais plus grande que f_1 parce que cet air a déjà parcouru le chemin de A à B ; par conséquent l'air qui frôle B renferme de la vapeur d'eau dont la tension va en diminuant de f_4 à f_2.

Dans l'expiration, l'air qui frôle B renferme de la vapeur d'eau à une tension qui va en augmentant de f_2 à f_4.

En somme, le point B est frôlé alternativement par deux courants d'air de sens contraire, l'un où la tension de la vapeur d'eau va en augmentant de f_2 à f_4, l'autre où la tension va en diminuant de f_4 à f_2 ; ce qu'on peut représenter par :

Variation progressive { de f_4 à f_2, dans l'inspiration ; de f_2 à f_4, dans l'expiration.

Remarquons, en insistant, que la tension la plus élevée est f_4, que f_4 est plus petite que f_5 et rappelons que f_5, que nous avons mesurée et trouvée égale à 41^{mm}4, par exemple, est loin d'atteindre 47^{mm}9 qui est la tension maxima pour 37°5, température du corps humain.

C. *En un point intermédiaire entre* A *et* B. — Si, au lieu de considérer un point unique bien déterminé de la paroi, nous considérons plusieurs points C situés entre A et B et qui sont de plus en plus rapprochés de B ou de plus en plus rapprochés de A, nous aurons deux cas intéressants à étudier.

En un point C se rapprochant de plus en plus de B, les variations dans les deux courants seront sensiblement les mêmes qu'en B et pourront se représenter par la formule :

$$\text{Variation} \begin{cases} \text{de } f'_4 \text{ à } f'_2, \text{ dans l'inspiration ;} \\ \text{de } f'_2 \text{ à } f'_4, \text{ dans l'expiration,} \end{cases}$$

où f'^2 tend vers f^2 et f'^4 tend vers f_4, valeurs qu'elles atteignent en B.

En un point C se rapprochant de plus en plus de A, les variations se feront de la manière suivante :

Dans l'inspiration, elles se feront de $f_3 + x$ à $f_1 + x'$ et, dans l'expiration, de $f_1 + x'$ à $f_3 + x$ à peu près, ce qui revient à la formule générale

$$\text{Variation} \begin{cases} \text{de } f'_4 \text{ à } f'_2, \text{ dans l'inspiration ;} \\ \text{de } f'_2 \text{ à } f'_4, \text{ dans l'expiration ;} \end{cases}$$

où f'_2 tend vers f_1, f'_4 vers f_3, valeurs qu'elles atteignent en A parce x' devient nulle ; alors le passage de f'_4 se fait brusquement à f'_2, c'est-à-dire à f_1.

Dans le premier cas, f'_2 et f'_4 vont en augmentant dans la formule générale, en considérant un point C de plus en plus rapproché de B ; dans le second cas, f'_2 et f'_4 vont en diminuant quand on considère un point C de plus en plus rapproché de A.

Dans les deux cas, les deux courants sont constitués par de l'air de plus en plus ou de moins en moins chargé de vapeur d'eau, où les tensions de cette vapeur varient de la même manière, mais entre les limites différentes, plus élevées quand on se rapproche de B, plus basses quand on revient vers A.

Ce sont les seules notions que nous puissions établir en ce moment, mais si vagues qu'elles paraissent, elles pourront nous servir.

Nous résumerons cette partie en disant : que l'air des poumons, quelque région qu'il occupe, n'est jamais complètement saturé de vapeur d'eau à sa température ; que, dans l'air expiré, la tension de la vapeur d'eau augmente de celle de la première tranche sortie à celle de la dernière tranche qui sort dans l'expiration, c'est-à-dire de f_1, tension dans l'air extérieur, jusqu'à f_3, tension qui mesure l'hygromètre respiratoire dans l'expiration normale, ou jusqu'à f_5 tension, mesurée dans l'expiration forcée ; et, enfin, que la valeur de cette tension, dans une même tranche est sous la dépendance de circonstances extérieures et de circonstances intérieures à l'homme ; en particulier, cette tension varie dans une même tranche, quand la quantité de vapeur d'eau dans l'air extérieur et l'état du sujet sont modifiés.

GERMINATION DES SPORES DANS L'AIR HUMIDE

La germination des spores placées dans l'air humide ne dépend que de l'état hygrométrique ; sa vitesse augmente quand l'état hygrométrique augmente, elle diminue quand l'état hygrométrique diminue et il y a un état hygrométrique limite, au-dessous duquel la germination ne se fait plus.

J'ai étudié cette germination le plus souvent avec des spores de *Penicillium glaucum*, mais quelquefois aussi avec des spores de *Lterigmatocystis nigra*. Les résultats de cette étude ont été obtenus plus particulièrement avec le *Penicillium* ; mais on peut les rapporter au *Sterigmatoceptis*, à quelques différences de détail près. Je pense que les spores de beaucoup de moisissures donneraient également l'allure de ces mêmes résultats.

Ces spores, mûres et bien conformées, germent quand on leur fournit de l'oxygène, de la chaleur et de l'humidité en quantité convenable ; c'est ainsi que j'ai pu faire germer des spores de mes deux champignons en les plaçant à nu sur des lames de verre et en leur fournissant seulement les conditions extérieures que je viens d'indiquer. J'ai discuté ailleurs pour le *Penicillium glaucum* (1) les quantités limites de germination pour ces trois conditions, je ne veux m'attacher en ce moment qu'à l'étude particulière de la condition d'humidité appliquée à une spore germant dans l'air humide. Voici d'ailleurs, rapidement donnés, les renseignements qui concernent les deux autres conditions :

Température : limite inférieure 1°5 à 2°5 ;
limite supérieure 41° à 43° :
optimum 22° à 26°.

Oxygène : Les spores peuvent germer dans l'oxygène pur, dans l'atmosphère ordinaire et dans une atmosphère contenant de très petites quantités d'oxygène, mais avec des retards sur la germination normale dans l'air ordinaire.

Pour apprécier la condition d'humidité dans l'air, nous n'avons que deux moyens assez différents :

(1) P. Lesage, Recherches expérimentales sur la germination des spores de *Penicillium glaucum*. *Ann. des sc. nat.*, Botanique, (8e), I, p. 309, 1895.

1° mesurer le poids de vapeur d'eau par unité de volume d'air.

2° mesurer l'état hygrométrique de cet air.

J'ai été amené, par de nombreuses expériences, à constater que la mesure du poids de vapeur d'eau, faite seule, est sans importance dans la germination des spores, ne peut nous renseigner sur la possibilité de cette germination, mais que l'état hygrométrique nous renseignera au contraire très bien. Autrement dit, cette germination ne dépend que de l'état hygrométrique, et nullement de la quantité absolue de vapeur d'eau considérée seule.

Il faut bien s'entendre et, pour cela, rappelons la définition de cet état hygrométrique : c'est le rapport de la tension actuelle f de la vapeur d'eau dans l'air à la tension maxima F de cette vapeur, à la température de cet air, $\frac{f}{F}$; ou encore, le rapport de la quantité en poids p de vapeur d'eau qu'il y a actuellement dans l'unité de volume d'air, à P la quantité la plus élevée, maxima de vapeur d'eau que le même volume d'air puisse contenir à la température qu'il possède en ce moment, $\frac{p}{P}$. Cet état hygrométrique se représente donc par $\frac{p}{P} = \frac{f}{F}$.

Il est évident que la germination étant sous la dépendance de l'état hygrométrique $\frac{p}{P}$, la quantité absolue de vapeur d'eau p peut être considérée dans cette germination puisque c'est un des termes de l'état hygrométrique ; mais elle ne doit être considérée que de la même manière que l'on considère l'un quelconque des termes d'une fraction ou d'un rapport, terme dont la seule valeur ne peut renseigner sur la valeur de la fraction, du rapport. Dans ce cas particulier, la quantité p considérée seule, ne pouvant renseigner sur la valeur du rapport $\frac{p}{P}$, qui seul règle la germination, ne peut régler cette germination qui alors en est indépendante.

Voilà ce qu'il faut entendre par ce que je viens de dire : la germination ne dépend que de l'état hygrométrique, $\frac{f}{F}$; elle est indédante de la quantité absolue de vapeur d'eau par unité de volume d'air considérée seule.

J'ai fait de nombreuses expériences en les modifiant et en les répétant sous diverses formes pour établir et vérifier directement ou indirectement cette loi. Je puis les grouper de la manière suivante, en envisageant la germination :

1° Dans une atmosphère confinée reposant sur des solutions de chlorure de sodium et dans laquelle f et F varient proportionnellement, de telle sorte que $\frac{f}{F}$ reste constant ;

2° Dans une atmosphère au repos où f reste sensiblement constant alors que F change, où, par conséquent, $\frac{f}{F}$ augmente ou diminue quand F diminue ou augmente ;

3° Dans une atmosphère en mouvement où f reste sensiblement constant quand F change : $\frac{f}{F}$ augmente ou diminue quand F augmente ou diminue quand F diminue ou augmente ;

4° Dans une atmosphère en mouvement dans laquelle F reste constant, mais où f prend des valeurs différentes ; $\frac{f}{F}$ augmente ou diminue quand f augmente ou diminue ;

5° Dans une atmosphère en mouvement où f et F varient sans rester proportionnelles et par conséquent dans laquelle $\frac{f}{F}$ varie aussi, en même temps ;

6° Dans une atmosphère en mouvement, les spores flottant sur l'eau.

GERMINATION DES SPORES DANS UNE ATMOSPHÈRE CONFINÉE, REPOSANT SUR DES SOLUTIONS DE CHLORURE DE SODIUM ET DANS LAQUELLE f ET F VARIENT PROPORTIONNELLEMENT, DE TELLE SORTE QUE $\frac{f}{F}$ RESTE CONSTANT

Pour étudier la germination des spores dans ces conditions, j'ai suspendu une lamelle (fig. 3) portant des cultures sur gélatine ou sur gélose m, dans des flacons fermant hermétiquement et au-dessus de solutions de Na Cl diversement concentrées n. Ces cultures placées dans les mêmes conditions, à part la solution, se trouvaient à un état hygrométrique constant et, en particulier,

indépendant de la température, ce qui me permettait de négliger les variations de cette température dans des expériences de longue durée. En outre, il m'était possible de calculer rapidement les valeurs de l'état hygrométrique par la formule $1 - na$ et de les comparer.

En effet, nous savons que, sur les solutions salines, la tension de la vapeur d'eau est inférieure à la tension sur l'eau pure, à la même température.

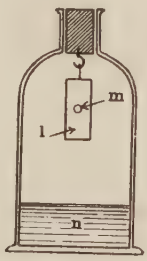

Fig. 3.

Soit F la tension de vapeur de l'eau pure ; $f < F$, la tension à la même température, d'une solution considérée de Na Cl, F—f sera la diminution de tension. D'après la loi de Babo (1) ; la diminution de tension de vapeur est, à toutes les températures, la même fraction de la tension de vapeur émise par l'eau pure. Ceci se traduit par $F-f = FC$, C étant plus petit que 1 et une fraction constante. On tire de là $\frac{F-f}{F} = C$ et $\frac{f}{F} = 1-C =$ constante encore. Le rapport des tensions de la dissolution et de l'eau pure $\frac{f}{F}$ est donc indépendant de la température. Or ce rapport n'est autre que l'expression de l'état hygrométrique de l'air dans lequel se trouvent les spores.

D'autre part, d'après la loi de Wüllner (2) la diminution de tension croît à une température donnée, proportionnellement à la quantité de Na Cl dans le même poids d'eau. On peut le représenter ainsi :

$$F-f = naF$$

où n est le nombre de grammes de Na Cl dissous dans 100 gr. d'eau et a un facteur constant que Wüllner a trouvé égal à 0,00601 pour le sel marin. On peut tirer de là :

$$f = F-naF = F(1-na)$$

d'où

$$\frac{f}{F} = 1-na = 1-n \times 0{,}00601$$

(1) *Traité de physique biologique* publié sous la direction de MM. d'Arsonval, Gariel, Chauveau et Marey ; Cf I, 1901, p. 579.

(2) *Traité de physique biologique*, p. 580. — Wüllner, Versuche über die Spannkraft des Wasserdamptes aüs Wässerigen Salzlösungen. *Annalen, Poggendorff*, CIII, p. 529.

Bien que les lois de Babo et de Wüllner ne soient pas rigoureuses pour tous les corps, elles sont assez approchées empiriquement pour conserver une valeur pratique ; particulièrement dans les cas de NaCl dissous dans l'eau et de la concentration des dissolutions que j'ai employées, j'ai pensé que je pouvais considérer l'état hygrométrique comme constant.

J'ai donc fait de nombreuses solutions de NaCl contenant n gr. de sel marin par 100 gr. d'eau, n variant de 0 à 35, au voisinage de la saturation, et c'est au-dessus de ces solutions que j'ai placé des cultures. J'ai répété un grand nombre de fois ces cultures dans des séries successives pour trouver la vitesse et, s'il était possible, la limite de cette germination, en observant de temps en temps les spores, au microscope et en notant, comme premier caractère de germination, l'apparition du tube germinatif avant qu'il ait atteint le diamètre de la spore.

En ce qui concerne la vitesse de la germination, j'ai constaté que, d'une solution à l'autre, les spores germent dans des temps inégaux et d'autant plus longs que la concentration est plus grande. J'ai été amené à conclure que la vitesse de germination diminue quand la concentration augmente, quand l'état hygrométrique diminue et, inversement, cette vitesse augmente quand la concentration diminue et quand l'état hygrométrique augmente.

Quant à la limite de germination, je l'ai trouvée comprise entre les solutions à 26,5 °/₀ et 30 °/₀, entre les états hygrométriques 0,84 et 0,82.

En effet, j'ai vérifié que la germination se fait encore après un temps assez long, sur la solution à 26,5 °/₀ et que, après 171 jours, les spores n'étaient pas encore germées sur la solution à 30 °/₀, pas plus que sur les solutions plus concentrées. J'ai vérifié en outre que ce défaut de germination ne tenait pas aux spores, puisque, placées ultérieurement au dessus de l'eau pure, ces mêmes spores germaient en peu de temps, d'abord celles qui provenaient de la culture primitive sur solution à 30 °/₀, puis celles des cultures sur solutions plus concentrées. Les spores germent donc encore sur les solutions à 26.5 °/₀ et ne germent plus sur les solutions à 30 °/₀.

A quoi attribuer cette différence dans la germination des deux cultures ? A la seule différence qui existe entre ces cultures, à la

différence d'humidité. Mais comment apprécier cette différence d'humidité. Quelle est la cause qui fait qu'il y a germination dans un cas, pas de germination dans l'autre ? Est-ce la tension de vapeur d'eau, est-ce l'état hygrométrique ? Discutons cette question.

Puisque les spores germent dans un cas et ne germent pas dans l'autre, c'est que, dans le premier, la condition d'humidité nécessaire à la germination est réalisée, tandis que, dans le second, elle ne l'est jamais.

Quelle est la condition d'humidité qui a été réalisée dans la culture sur 26,5 °/₀ et ne l'a jamais été dans la culture sur 30 °/₀ ?

Cherchons-la pour la tension de vapeur d'eau dans l'air.

Remarquons que l'expérience a duré 171 jours pour la culture sur solution à 30 °/₀. Pendant ce temps, la température a varié d'un jour à l'autre et, dans un même jour, d'une heure à l'autre. Supposons que cette variation de température se soit faite seulement de 23° à 17°, températures que je retrouve à chaque pas dans mes observations répétées, voici par quelles valeurs f est passée, en la calculant par la formule donnée précédemment,

$f = F(1 - na) = F(1 - n \times 0{,}00601)$ où $n = 30$ d'une part et $n = 26{,}5$, d'autre part.

Pour la solution à 26,5 °/₀ = 17^{mm}49 ; 16,48 ; 15,55 ; 14,63 ; 13,70 ; 12,86 ; 12,11, etc.

Pour la solution à 30 °/₀ = 17^{mm}05 ; 16,07 ; 15,17 ; 14,26 ; 13,26 ; 13,36 ; 12,54 ; 11,80, etc.

Nous voyons que, à part la tension 17^{mm}49, toutes les valeurs de f ont été fournies aux deux cultures ; 17^{mm}49 est donc la tension réalisée dans la culture sur 26,5 °/₀ et jamais réalisée dans la culture sur 30 °/₀. Est-ce cette tension qui est la condition nécessaire à la germination ? Oui s'il est prouvé que les spores ne germent jamais à une tension inférieure à 17,49, non, si elles germent au-dessous de 17^{mm}49. Mais la germination peut se faire à une tension bien inférieure à 17^{mm}49. En effet, les spores, placées dans une atmosphère confinée reposant sur l'eau pure germent, en général, entre les limites de température 1°5 et 43° ; en particulier, elles germeront donc de 1°5 à 20°, température pour lesquelles les tensions maxima sont comprises entre 5^{mm}1 et 17^{mm}4. Elles germent donc à une tension bien inférieure à 17^{mm}49.

Par conséquent la tension n'est pas la condition d'humidité nécessaire à la germination.

Cherchons-la pour l'état hygrométrique de l'air.

Si nous calculons avec la formule $\frac{f}{F} = 1 - na = 1 - n \times 0{,}00601$ les états hygrométriques de l'air dans lequel sont les spores dans les deux cultures, nous avons :

Pour la solution à 26,5 °/₀ : $1 - 26{,}5 \times 0{,}00601 = 0{,}84$.

Pour la solution à 30 °/₀ : $1 - 30 \times 0{,}00601 = 0{,}82$.

Nous savons, en outre, que, quelle qu'ait été la température, ces états hygrométriques sont restés constants. Il y a donc eu une condition d'état hygrométrique réalisée dans la culture sur 26,5 °/₀ qui ne s'est jamais réalisée dans la culture sur 30 °/₀ pas plus que sur les solutions plus concentrées que 30 °/₀, l'état hygrométrique 0,84. Est-ce cet état hygrométrique qui est la condition nécessaire à la germination ?

Oui s'il est prouvé que la germination ne se fait jamais au-dessous de l'état hygrométrique 0,84, à un état hygrométrique égal ou inférieur à 0,82 ; non si la germination se fait quelquefois au dessous de 0,82.

Depuis la première expérience jusqu'à maintenant, je n'ai pas trouvé de spores de *Penicillium glaucum* germant à un état hygrométrique inférieur à 0,82.

L'Etat hygrométrique est donc bien la condition d'humidité nécessaire à la germination. D'ailleurs on aurait pu dire que la condition d'humidité ne pouvant s'apprécier que par la tension de vapeur f ou, ce qui revient au même, par le poids p, et par l'état hygrométrique, s'il est démontré que la tension n'est pas la condition d'humidité nécessaire à la germination, cette condition nécessaire ne peut être que l'état hygrométrique ; mais il vaut mieux tirer cette conclusion de déductions plus précises, c'est ce que je crois avoir fait.

La germination des spores dans l'air humide est donc indépendante de la tension f de la vapeur d'eau, considérée seule, elle ne dépend que de l'état hygrométrique $\frac{f}{F}$; la vitesse de germination augmente quand l'état hygrométrique augmente, et diminue quand l'état hygrométrique diminue ; à la limite, c'est-à-dire quand

la vitesse devient nulle, l'état hygrométrique est 0,82 ou est compris entre 0,82 et 0,84 ; il y a donc, pour la germination des spores de *Penicillium glaucum*, un état hygrométrique limite compris entre 0,82 et 0,84, au-dessous duquel la germination ne se fait plus.

GERMINATION DES SPORES DANS UNE ATMOSPHÈRE AU REPOS OU f RESTE CONSTANT, ALORS QUE F CHANGE, OU, PAR CONSÉQUENT, $\frac{f}{F}$ AUGMENTE OU DIMINUE QUAND F DIMINUE OU AUGMENTE.

Les expériences précédentes démontrent que la germination ne dépend pas de f mais bien de $\frac{f}{F}$. Nous avons plusieurs autres moyens de démontrer et de vérifier cette loi. En voici un dans lequel f restant la même, on fait varier F seulement. Dans ces conditions, on a germination ou non suivant la valeur que prend F, ce qui montre bien l'indépendance de la germination vis à-vis de f.

Prenons une série caractéristique d'expériences.

J'ai placé neuf flacons ouverts sous une grande cloche saturée de vapeur d'eau à la température d'une cave, 16°5. Je les ai laissés ainsi pendant 16 heures pour permettre à l'air contenu dans ces flacons de se charger d'humidité jusqu'au voisinage de la saturation à cette température. Après ce temps j'ai mis, dans chacun d'eux, une lame de verre portant une culture de spores comparables de *Penicillium*, et je les ai fermés hermétiquement. J'en ai fait trois lots de trois flacons chacun, un que j'ai laissé dans la cave à 16°,5; l'autre que j'ai laissé dans le laboratoire où la température a peu varié autour de 22°. Le troisième a été mis à l'étuve, à la température de 32°. Chaque lot était accompagné de cultures témoins, faites dans les mêmes conditions que les précédentes, mais placées dans des flacons contenant un peu d'eau pour maintenir l'air à suturation. En examinant ces cultures témoins de temps en temps, je pouvais suivre la germination normale.

Voici dans ces témoins, l'ordre de germination déterminé par la seule action de la température.

La germination a commencé dans moins de 24 heures d'abord à 22°, puis à 32°; les cultures placées à 16°5, sont en retard sur les deux autres.

Remarquons deux choses concernant cette germination normale.

1° Elle s'est faite dans moins de 24 heures.

2° Elle se fait le mieux et le plus vite à 22°.

Quant aux autres cultures je les ai observées par deux fois : une première fois après 6 jours de semis ; une seconde fois après 10 jours.

Après le sixième jour comme après le dixième, je n'ai constaté de germination que dans le lot laissé dans la cave, à la température de 16°5.

Cette série d'expériences est suffisamment démonstrative. En effet, deux agents qui ont varié, pouvaient déterminer des différences dans la germination : la température et l'humidité.

D'après les cultures témoins, la température 22° est la plus favorable pour la germination qui s'y fait le mieux et le plus vite ; ce ne peut donc pas être la température qui, dans les autres cultures, fait que la germination se produit dans le lot conservé à 16°5 et ne se fait plus dans le lot placé à 22° par exemple. C'est autre chose. Ce n'est pas davantage la quantité p de vapeur d'eau par unité de volume d'air, puisque cette quantité n'a pas changé dans tous les lots. Ce ne peut être que l'état hygrométrique $\frac{f}{F}$. Et on peut s'expliquer qu'il doit en être ainsi par ce qui a été dit au chapitre précédent.

Considérons l'état hygrométrique de l'air où se trouvent placées les cultures dans les trois lots.

Soit $13^{mm}9$, la tension maxima de vapeur d'eau à 16°5 ; $19^{mm}6$ à 22°, et $35^{mm}3$ à 32°.

Supposons que, dans la première partie de l'expérience, l'air se soit complètement saturé de vapeur d'eau à 16°5 dans les flacons, et ceci n'est pas démontré, étant donnée la grande difficulté que j'ai toujours éprouvée à obtenir de l'air rigoureusement saturé, mais la démonstration n'en sera que mieux faite ; la tension f de l'état hygrométrique $\frac{f}{F}$ est restée égale à $13^{mm}9$ ou, si on fait la correction en tenant compte du passage de 16°5 à 22° à 32°, elle est devenue égale à :

$14^{mm}1$ à 22°

$14^{mm}6$ à 32°

Les états hygrométriques de l'air dans lequel se trouvaient les cultures étaient donc respectivement :

à 16°, $\frac{13,9}{13,9} = 1$

à 22°, $\frac{13.9}{19,6}$ ou, plus exactement $\frac{14,1}{19,6} = 0,71$

à 32°, $\frac{13,9}{19,6}$ ou plus exactement $\frac{14,6}{35} = 0,41$.

Dans les cultures à 22° et à 32°, les états hygrométriques 0,71 et 0,41 étaient bien inférieurs à la limite de germination 0,82 ; d'après la loi il ne devait pas y avoir de germination, c'est ce que l'expérience a démontré. Donc la germination ne dépend pas de f, mais de $\frac{f}{F}$.

Remarquons, en insistant, que ces expériences faites avec le *Penicillium glaucum* d'abord, ont été répétés avec le *Penicillium* et le *Sterigmatocystis nigra*. Pour ce dernier Champignon, comme pour le premier, la loi reste vraie, abstraction faite de différences de détail qui se sont présentées entre ces deux Moisissures, quant à la vitesse de germination et quant à la valeur de l'état hygrométrique limite de germination.

GERMINATION DES SPORES DANS UNE ATMOSPHÈRE EN MOUVEMENT OU f RESTE SENSIBLEMENT CONSTANT QUAND F CHANGE, $\frac{f}{F}$ AUGMENTE OU DIMINUE QUAND F DIMINUE OU AUGMENTE.

Les expériences de cette série, tout en présentant les conditions fondamentales de la série précédente, en diffèrent par ce fait que l'air est en mouvement, au lieu d'être au repos. Pour établir cette différence, il m'a fallu employer des appareils que je n'ai fait fonctionner qu'un temps assez limité, mais suffisant pour permettre de constater des différences de germination caractéristiques de l'unique influence de l'état hygrométrique.

Voyons l'appareil représenté très schématiquement dans la figure 4.

Il comprend un aspirateur T qui fait passer un courant d'air, ayant barboté dans un flacon laveur F, à l'intérieur d'un tube de caoutchouc sur le parcours duquel j'ai intercalé plusieurs cultures

placées à des températures différentes et qui sont les suivantes en allant de F à T. Une culture A_1, à la température du laboratoire ; une culture B_1, refroidie par un courant d'eau à une température un peu plus basse que celle du laboratoire ; une culture C_1, mise à l'intérieur de l'étuve E dont la température est maintenue au-dessus des deux premières ; une culture B_2 refroidie par le courant d'eau qui passe autour de B_1 ; et, enfin, une culture A^2 maintenue dans l'air du laboratoire et à sa température.

Un mot des cultures elles-mêmes. Ce sont des spores comparables et semées sur goutte de gélose m adhérente à la paroi interne du tube P. Dans A_1, A_2 et C_1, ce tube P est simplement adapté au tube conducteur de caoutchouc. Dans B_1 et B_2, le tube

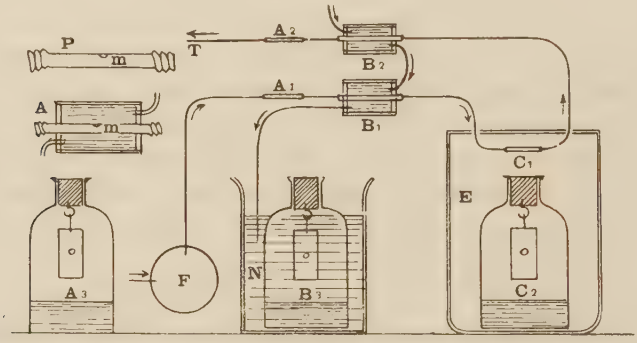

Fig. 4.

P est entouré par un petit manchon de verre disposé en réfrigérant, comme l'indique le schéma A et dans lequel passe le courant d'eau. Il y a, en plus, trois cultures témoins placées dans l'air saturé de vapeur d'eau à leur température : A_3, à la température du laboratoire ; C_2 à celle de l'étuve ; et B_3, maintenue dans un cristallisoir N recevant l'eau ayant passé sur B_2 et B_1 et dont la température, très voisine de celles de B_1 et B_2, est mesurée par un thermomètre.

Voici une expérience et sa discussion.

Les semis étant faits, les cultures en place, le courant d'air et le courant d'eau sont mis en marche et les températures relevées ; il est 7 heures du matin.

Température du laboratoire, 21°.

Température de B_3, 18°.

L'étuve est réglée à 25°.

Disons tout de suite, pour ne pas y revenir, que les températures du cristallisoir N et de l'étuve E sont restées constantes pendant toute la journée ; celle du laboratoire a un peu augmenté au-dessus de 21°.

Il y a eu une légère condensation en B_1 et B_2 ce qui indique que l'air était saturé à la température de B_1, à partir de B_1, saturé à une température un peu plus élevée avant B_1, et que B_2 était à une température un peu plus basse que B_1. ce qui s'explique par un léger échauffement de l'eau passant de B_2 en B_1 dans un milieu possédant une température plus élevée. Pour la même raison, nous devons penser que B_3 était à une température un peu plus haute que les deux cultures précédentes ; mais les différences étaient faibles et nous raisonnerons comme si ces trois cultures avaient la même température 18°.

Rappelons la conclusion de la première série de recherches : La germination ne dépend que de l'état hygrométrique et sa vitesse diminue quand diminue cet état hygrométrique ou inversement. La durée assez courte de l'expérience actuelle ne me permettant pas de constater d'une manière indiscutable que les spores ne peuvent pas germer, je devrai me contenter de vérifier que les spores placées à un état hygrométrique élevé germent plus rapidement que les spores placées à un état hygrométrique inférieur, soit parce que ces dernières, ayant germé, ont donné un tube mycélien plus court, soit parce qu'elles ne sont pas germées du tout à la fin de l'expérience.

Il est donc du plus grand intérêt de connaître les états hygrométriques à la surface des cultures.

Dans la culture A_1 et A_2 il est égal à

$$\frac{\text{F de } 18^\circ}{\text{F de } 21^\circ} = \frac{15{,}84}{18{,}49} = 0{,}856.$$

Dans la culture A_3 l'air est saturé à 21° et l'état hygrométrique est égal à

$$\frac{\text{F de } 21^\circ}{\text{F de } 21^\circ} = \frac{18{,}49}{18{,}49} = 1.$$

Dans les cultures de B_1, B_2, B_3, il est égal à 1 puisqu'il y a eu condension en B_1, B_2, et puisque B_3 est dans de l'air confiné reposant sur de l'eau pure. Cet état hygrométrique peut se représenter comme ci-dessus :

$$\frac{\text{F de } 18^\circ}{\text{F de } 18^\circ} = \frac{15{,}84}{15{,}84} = 1.$$

Dans la culture C_1 il est égal à

$$\frac{\text{F de } 18^\circ}{\text{F de } 25^\circ} = \frac{15{,}84}{23{,}55} = 0{,}672.$$

Enfin dans la culture C_2 l'air est saturé à 25° et l'état hygrométrique est :

$$\frac{\text{F de } 25^\circ}{\text{F de } 25^\circ} = \frac{23{,}55}{23{,}55} = 1.$$

Si la loi est vraie, nous pouvons dire, avant toute observation directe des spores, que dès que les spores de A_3 commenceront à germer, il ne devra y avoir de germination ni en A_1, ni en A_2, parce que si l'état hygrométrique 0,856, un peu supérieur à la limite 0,82, indique qu'il doit y avoir germination dans un temps plus ou moins long, il fait prévoir aussi que le temps de germination sera certainement plus long qu'en A_3.

Quand les spores germeront en B_3, la germination devra être commencée en B_1 et B_2.

Enfin, quand C_2 commencera à germer, il n'y aura pas de germination en C_1, par ce que 0,672 est plus petit que 1, et aussi parce que ces spores ne doivent jamais germer à un état hygrométrique aussi bas et au-dessous de 0,82.

Il fallait donc suivre attentivement les cultures témoins A_3, B_3, C_2. C'est ce que j'ai fait pour les deux premières par des observations au microscope convenablement espacées.

A 5 heures du soir, la germination de A_3 commence ; à 6 heures, celle de la culture B_3. Il y a une petite différence due à la température qui est 21° dans le premier cas, 18° dans le second.

A 8 heures du soir, j'arrête l'expérience et je mets rapidement les cultures dans l'alcool pour les étudier avec soin et lentement au microscope, sans craindre qu'il ne s'y introduise des différences dues à la récolte à des époques différentes.

L'expérience a donc duré 13 heures. Voici les résultats :

Germination en A_3, B_1, B_2, B_3 et C_2 :

Pas de germination en A_1, A_2 et C_1.

Ces résultats sont conformes aux prévisions basées sur la loi et en même temps confirment cette loi.

Disons que les tubes mycéliens issus de la germination étaient un peu plus longs en C_2 qu'en A_3, et en A_3 qu'en B_3. Ces différences tiennent à la température et montrent que 25° est plus près de l'optimum de température que 21° et surtout que 18° (1).

La même expérience répétée a toujours fourni des indications concordantes avec celles que je viens de donner.

Donc la germination ne dépend pas de f, mais de $\frac{f}{F}$.

GERMINATION DES SPORES DANS UNE ATMOSPHÈRE EN MOUVEMENT DANS LAQUELLE F EST CONSTANT MAIS OU f PREND DES VALEURS DIFFÉRENTES : $\frac{f}{F}$ AUGMENTE OU DIMINUE QUAND f AUGMENTE OU DIMINUE.

Pour réaliser ces conditions, j'ai varié mes expériences, mais en les subordonnant toujours à ce principe : faire passer alternativement de l'air sec et de l'air humide sur les cultures conservées à la même température et, par conséquent, à un état hygrométrique $\frac{f_1}{F}$ alternant avec $\frac{f_2}{F}$.

En voici une première.

L'appareil employé comprend un aspirateur A (fig. 5) qui fait circuler un courant d'air alternativement sec et humide sur une culture B, intercalée dans le courant, et placée dans un tube de verre semblable aux tubes P de la figure 4. L'alternance se fait régulièrement : un temps pour l'air sec, un temps pour l'air humide, à raison de trente temps à la minute, à peu près. L'air sec passe dans de l'acide sulfurique et traverse des fragments de chlorure de calcium placés en C ; l'air humide barbote dans un ou plusieurs flacons laveurs

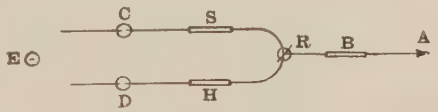

Fig. 5.

(1) Untersuchungen über den Einfluss der Temperatur auf die Entwickelung des *Penicillium glaucum*. *Sitzungb. der k. Ak. der Wiss. zu Wien*, 1873. — Wiesner donne l'optimum, mais laisse entendre qu'il pourrait se trouver entre 22° et 26°. D'autre part, mes nombreuses expériences me portent à croire qu'il est plus près de 26° que de 22°.

placés en D. On fait passer alternativement ces deux sortes d'air sur la culture B, à l'aide du robinet à trois voies R.

Des cultures témoins sont intercalées en H sur le courant d'air humide et, en S, sur le courant d'air sec pour connaître l'action particulière de ces courants sur la germination ; une troisième se trouve dans un flacon E contenant un peu d'eau, et où, par conséquent, l'air était saturé. Le tout est à la température du laboratoire ; au début, cette température était de 20° et elle a relativement peu varié. Nous la supposerons donc constante et égale à 20° dans notre discussion.

Voyons les conditions hygrométriques des cultures.

En réglant l'aspirateur, j'ai cherché à connaître *grosso modo* la valeur de la tension de la vapeur d'eau dans le courant d'air humide, en le faisant passer dans un tube de verre immergé à côté d'un thermomètre dans de l'eau froide se réchauffant progressivement jusqu'à la température du laboratoire. Au début, la paroi de ce tube était couverte d'une buée qui disparaissait au fur et à mesure que le thermomètre marquait une température plus voisine de 20°. A 18°5 je pouvais encore l'apprécier ; au-dessus, cela m'était impossible. Le courant d'air renfermait donc de la vapeur d'eau possédant au moins la tension maxima pour 18°5.

Je ne m'arrêterai pas à l'air sec, c'est celui du laboratoire ayant traversé le dessiccateur ; la tension de la vapeur d'eau doit y être très faible sinon nulle ; supposons-la égale à 0.

Nous avons les états hygrométriques suivants :

$$\text{pour S} = \frac{\text{F de } 18°5}{\text{F de } 20°} = \frac{15^{mm}84}{17{,}39} = 0{,}91.$$

$$\text{pour H} = \frac{\text{F de } 0°}{\text{F de } 20°} = \frac{0}{17{,}39} = 0.$$

$$\text{pour E} = \frac{\text{F de } 20°}{\text{F de } 20°} = \frac{17{,}39}{17{,}39} = 1.$$

Pour B nous avons un état hygrométrique qui est 0 à un moment et 0,91 à l'autre, ou qui varie de 0 à 0,91.

D'après la loi de germination nous savons ce qui se passera en E, H et S.

Il n'y aura pas, il ne peut pas y avoir de germination en S ; il y aura germination en H avec un léger retard sur E ; mais que se passera-t-il en B ?

Consultons les résultats de l'expérience.

Je l'ai mise en marche à 7 heures du matin ; à 5 heures du soir, les spores commençaient à germer en E ; j'ai continué jusqu'à 7 heures et demie, moment où j'ai cessé de manœuvrer le robinet R pour observer toutes les cultures.

En E et en H les spores sont germées ; mais, en H, les tubes mycéliens sont un peu plus courts, ce qui indique que la germination a commencé un peu plus tard qu'en E. En B et en S il n'y a pas de germination et les spores sont déformées, ratatinées.

Une objection pourrait m'être faite : ce n'est pas l'alternance de l'air humide et de l'air sec qui empêche la germination, ce sont les vapeurs nocives formées dans le dessiccateur et entraînées par cet air.

Dans les expériences suivantes, j'ai éliminé cette cause d'erreur en supprimant le dessiccateur et en employant l'air du laboratoire comme air relativement sec. Dans ces conditions nouvelles, les résultats sont restés les mêmes, nous pourrons donc les considérer comme valables.

Par conséquent si on fait passer sur des spores de l'air humide permettant la germination, et de l'air sec, en alternance régulière, cette alternance empêche ou, au moins, retarde la germination de ces spores.

A propos de cette expérience et des suivantes, il me paraît bon de faire dès maintenant et pour n'y plus revenir, une remarque sur la manœuvre du robinet R. Cette manœuvre aurait pu se faire avec un instrument possédant un mouvement d'horlogerie, mais j'ai dû abandonner cette idée ; car, sans compter le prix et le temps de fabrication de cet instrument, il aurait fallu le modifier de plusieurs manières ou avoir plusieurs instruments, ce qui aurait absorbé une somme assez importante et demandé un temps assez long quand on n'a pas de mécaniciens spéciaux sous la main comme dans mon cas. Dans ces conditions, j'ai employé la machine humaine. Je pourrais me dispenser de donner ce détail si la durée de l'expérience n'avait été que de quelques minutes ; mais quand il s'agit d'une durée de 13 à 15 heures, pendant lesquelles il faut dépenser une certaine dose de patience, la critique, même bienveillante, peut être tentée de dire : pourquoi cette fatigue quand on peut avoir des instruments qui fonctionnent sans peine et

mieux que la main? Je réponds : « Mes moyens ne m'ont pas permis ce luxe.» J'ai donc manœuvré le robinet R, à la main, pendant toute la durée de l'expérience actuelle et des suivantes, excepté au moment des repas, pendant lesquels je me faisais remplacer par un garçon de laboratoire qui avait ma confiance.

J'ai modifié l'expérience précédente en faisant varier la durée relative du passage de chaque courant sur les spores, c'est-à-dire la durée de son contact avec ces spores.

Pour faire varier cette durée relative, j'ai modifié le rythme de l'alternance. Dans l'expérience précédente, l'alternance était régulière et suivant la mesure à deux temps ; un temps pour l'air sec, un temps pour l'air humide, à raison d'environ 38 temps à la minute. Dans les expériences suivantes, j'ai pris la mesure à 6 temps : un temps pour l'air sec, cinq temps pour l'air humide ; la mesure à 10 temps : un temps pour l'air sec, neuf temps pour l'air humide ; la mesure à 12 temps : un temps pour l'air sec, onze temps pour l'air humide et toujours à raison d'environ 30 temps à la minute.

Ce n'est qu'avec ce dernier rythme que j'ai pu obtenir la germination en B, dans un temps assez voisin du temps normal pour pouvoir l'observer à la fin des 14 ou 15 heures qu'ont duré ces expériences.

Pour en arriver là, j'ai dû faire plusieurs séries d'expériences ; voyons en détail celle dans laquelle j'ai employé le rythme à 6 temps.

L'appareil est un peu compliqué parce que je voulais opérer en même temps avec la mesure à deux temps et la mesure à six temps, pour avoir un lien et pouvoir établir une comparaison avec les résultats de l'expérience précédente ; parce que je n'employais qu'un seul aspirateur et ne voulais utiliser que le même air humide. Il est formé par deux appareils accouplés semblables à celui qui a été employé dans l'expérience précédente et schématisé dans la figure 5, mais avec un seul aspirateur et une seule source d'air humide. Il est très schématisé dans la figure 6.

On y trouve, en partant de l'aspirateur : un tube unique se raccordant, par un tube à trois branches, avec deux autres tubes dans chacun desquels on a intercalé une culture B et b, sur laquelle se fera, par la manœuvre des robinets à trois voies R et r, l'alter-

nance d'air sec, venant du laboratoire, en passant sur les cultures témoins S et s, et d'air humide venant d'un flacon laveur M ou m et d'une colonne de mousse humide N, en passant sur des cultures témoins H et h. Les flacons laveurs M et m sont surtout destinés à indiquer, par le passage des bulles d'air, la marche des courants; de plus, l'air n'y traverse qu'une couche d'eau assez mince pour éviter des différences de pression trop grandes entre les courants d'air sec et les courants d'air humide, afin d'assurer un débit presque égal dans les deux sortes de courants.

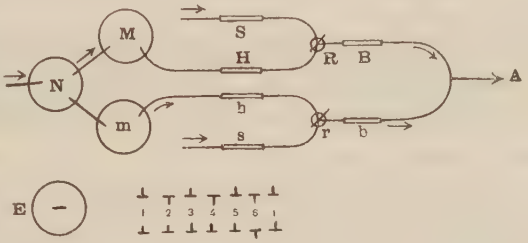

Fig. 6.

Pour faire passer les courants suivant les rythmes indiqués, je comptais régulièrement de 1 à 6 et, d'une main, je tournais le robinet R de 180° dans un sens, à chaque temps d'ordre pair ; puis, en sens contraire, à chaque temps d'ordre impair, ce qui donnait une alternance régulière. De l'autre main, je tournais le robinet r de 180° dans un sens, au temps 1 ; puis, en sens contraire, au temps 6, ce qui faisait l'alternance à 6 temps indiquée. Pour faire saisir cette opération, j'ai représenté sur la figure 6 la position occupée par les trois voies des robinets aux 6 temps et dans les deux cas.

Pour l'appareil A B R H S M N, l'air sec et l'air humide passent en alternance régulière sur B ; pour l'appareil A b r h s m N, l'air sec passe une fois quand l'air humide passe 5 fois sur b; la durée du contact est donc 5 fois plus grande pour l'air humide.

Cette manœuvre est assez difficile parce qu'elle demande beaucoup de patience et une attention soutenue, car il ne faut pas que les deux mains prennent le même rythme, ce qu'elles sont naturellement portées à faire. Avec un peu d'habitude et de bonne volonté on réussit cependant.

En plus des cultures témoins H, h, S, s, employées pour juger de l'action isolée de chaque courant d'air sur la germination, j'avais une ou plusieurs cultures témoins E, où les spores étaient suspendues dans de l'air reposant sur de l'eau pure et saturé à la tempé-

rature du laboratoire; elles étaient destinées à indiquer la marche de la germination dans l'air saturé à la température de l'expérience.

Les cultures étant mises en place, l'appareil bien monté, j'ai commencé l'expérience à 6 h. 1/4 du matin.

La température a légèrement varié, un peu au-dessus de 23°, un peu au-dessous.

Les cultures témoins E ont commencé à germer vers 2 heures de l'après-midi. Malgré cela, j'ai continué l'expérience jusqu'à 8 h. 1/4 du soir, moment auquel j'ai arrêté l'expérience et mis rapidement les cultures dans l'alcool.

A l'observation, voici ce que j'y ai trouvé :

Germination en E, H, h, avec des tubes mycéliens plus développés en E qu'en H et h.

Pas de germination en S et s, ce qui ne nous surprend point, mais les spores n'ont pas encore germé en B et b.

J'ai repris la même expérience en employant comparativement le rythme à deux temps et le rythme à dix temps ; je n'ai pas eu de germination en B et b après 14 h. 1/2.

Dans une autre expérience, j'ai simplifié l'appareil en supprimant toute la partie B R H S et, en outre, j'ai employé la mesure à 12 temps : un temps pour l'air sec, onze temps pour l'air humide. Après 15 heures, à la température de 21°5 à 22°, les spores placées en b commençaient enfin à germer, bien qu'avec un retard encore assez grand sur la culture h et plus grand encore sur la culture E.

Ces expériences diverses montrent que la germination des spores placées dans l'air en mouvement, alternativement sec et humide, est sous la dépendance de la durée relative du contact avec l'air sec et avec l'air humide. Plus cette durée est grande avec l'air sec, plus la germination est retardée, plus cette durée est longue avec l'air humide plus la vitesse de germination est grande.

Il est probable que ces contacts se composent pour former une résultante qui détermine la germination à plus ou moins brève échéance, ou l'empêche complètement. Pour faire une étude approfondie de la question, il faudrait faire varier f dans les deux courants, varier la durée des contacts, etc. ; mais cela nous entraînerait trop loin en ce moment, et j'aurai, plus tard, l'occasion d'y revenir.

Ce qu'il faut retenir, c'est que les résultats des expériences précédentes se justifient très bien, en admettant que la germination des spores ne dépend que de $\frac{f}{F}$, c'est-à-dire que de l'état hygrométrique.

GERMINATION DES SPORES DANS UNE ATMOSPHÈRE EN MOUVEMENT OU F ET f VARIENT SANS RESTER PROPORTIONNELLES, ET, PAR CONSÉQUENT, DANS LAQUELLE $\frac{f}{F}$ VARIE EN MÊME TEMPS.

Voici une expérience de cette sorte et qui réunit plusieurs des résultats obtenus précédemment dans un schéma instructif et démontrant bien l'influence de l'état hygrométrique sur la germination des spores.

L'appareil comprend, dans ses grandes lignes et comme l'indique le schéma de la figure 7 : un aspirateur G, faisant passer, dans un tube composé de plusieurs parties, un courant d'air qui est contenu dans les portions M N R et T D E F G et qui alterne dans les portions R m n C T et R A B T, par la manœuvre du robinet à trois voies R.

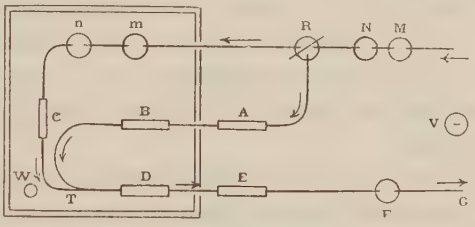

Fig. 7.

Ces diverses parties ont été maintenues à deux températures différentes, t_1 la température du laboratoire, t_2 la température d'une étuve représentée par le carré du schéma. Comme la température t_1 du laboratoire a augmenté lentement de 23°5 à 26°5, j'ai élevé de la même manière la température de l'étuve de 27° à 30° pour conserver, à chaque instant, une différence de quelques degrés entre ces deux températures.

En examinant la figure 7, on voit que M, N, R, A, E, F, G sont à la température t_1 du laboratoire et que m, n, C, B, T, D sont à la température t_2 de l'étuve.

Reprenons ces diverses parties en détail.

En M et N sont deux flacons barboteurs contenant de l'eau et

destinés à charger de vapeur d'eau l'air qui entre dans l'appareil et à l'amener aussi près que possible de la saturation à t_1.

En R est un robinet à trois voies destiné à faire passer cet air dans les portions R m n C T et R A B T, alternativement et suivant la mesure à deux temps.

La première portion comprend : m et n qui sont deux flacons contenant de l'eau dans laquelle l'air barbote à nouveau et se surcharge de vapeur d'eau pour atteindre le plus près possible de la saturation à t_2 ; C, qui est un tube de verre, forme P de la figure 4, contenant une culture de spores de *Penicillium* à la température t_2.

La seconde portion est composée de A, culture semblable à la précédente, mais placée à la température t_1 ; de B, autre culture à la température t_2.

Ces deux portions se réunissent en T par un tube à trois branches.

A partir de T, le courant est continu, mais il est alimenté alternativement par l'air ayant passé par M N R A B T et par M N R m n C T. En D, ce courant alternatif frôle une culture à la température t_2, puis, en E, une culture à la température t_1.

En F, j'ai placé un flacon pour recevoir l'eau de condensation qui peut se déposer dans le tube que j'ai incliné suffisamment à cet effet.

Enfin V est une culture témoin dans l'air saturé à t_1 et W une autre culture témoin dans l'air saturé à t_2.

Nous pouvons, par tout ce qui a été dit jusqu'à présent, prévoir ce qui arrivera, au moins dans les grandes lignes. Cherchons-le approximativement en prenant, pour t_1 et t_2, les moyennes des températures extrêmes et supposant, un instant, que l'air soit saturé après son passage en M N et en m n.

Les moyennes de températures seront :

$$\text{Pour } t_1 : \frac{23°5 + 26°5}{2} = 25°$$

$$\text{Pour } t_2 : \frac{27° + 30°}{2} = 28°5$$

Les états hygrométriques à la surface des spores seront :

$$\text{En A} : \frac{\text{F de } 25°}{\text{F de } 25°} = 1$$

$$\text{En B} : \frac{\text{F de } 25^\circ}{\text{F de } 28^\circ 5} = \frac{23,5}{28,9} = 0,81$$

$$\text{En C} : \frac{\text{F de } 28^\circ 5}{\text{F de } 28^\circ 5} = 1$$

En D : il y aura alternance de l'état hygrométrique de C et de l'état hygrométrique de B ; c'est-à-dire alternance des états hygrométriques 1 et 0,81.

$$\text{En E} : \frac{\text{F de } 25^\circ 5}{\text{F de } 25^\circ} = 1 + \text{condensation.}$$

En V et W l'état hygrométrique est égal à 1.

Nous pouvons tirer de là que la culture B ne peut pas germer puisque l'état hygrométrique 0,81 est au-dessous de la limite de germination 0,82 ; que la germination se fera en A, C, V, W avec de petites différences tenant aux légères différences des températures t_1 et t_2 .

En E, il y aura germination et de l'eau se condensera ; c'est en prévision de cette condensation que le flacon F a été intercalé dans le courant.

Enfin, en D, la germination pourra peut-être se produire, mais avec un fort retard sur toutes les autres ou ne se produira pas du tout.

Voyons maintenant les résultats de l'expérience.

Elle a été mise en marche à 5 h. 1/4 du matin ; à deux heures de l'après-midi, les spores étaient germées depuis quelque temps dans les cultures témoins ; j'ai tout arrêté à 6 h. 1/2 du soir. Cela faisait donc une durée de 13 h. 1/4. En étudiant les cultures au microscope, j'ai trouvé les spores germées en A, C, E, V, W ; non germées en B, D.

Les prévisions sont réalisées amplement.

En ce qui concerne B, c'était certain ; pour D il y avait incertitude, car nous y trouvons l'alternance de deux courants d'air suffisamment humides pour permettre la germination l'un à 25° l'autre à 28°5, puisque A et C ont germé, et parce que j'ai prolongé l'expérience 4 à 5 heures ou plus, après la germination normale.

La germination de A a présenté un léger retard sur E et V, cela veut dire que l'air ne s'était pas complètement saturé en M N et que les indications basées sur la saturation à t_1 de même qu'à t_2 ne

doivent être considérées que comme approximatives ; mais la marche de l'ensemble reste suffisamment nette.

Il n'est pas besoin d'ajouter que la condensation s'est produite en E.

En somme, la germination ne dépend pas de f mais de $\frac{f}{F}$, c'est ce que démontre une partie de l'expérience et c'est ce qui permet d'expliquer l'autre partie.

GERMINATION DES SPORES FLOTTANT SUR L'EAU, DANS UNE ATMOSPHÈRE EN MOUVEMENT.

Dans cette catégorie d'expériences j'ai employé des cultures témoins de deux sortes, cultures dans l'air saturé à la température de l'expérience et de la forme représentée dans la figure 3 ; cultures témoins dans les tubes P de la figure 4. La culture caractéristique de cette sorte de recherches est placée dans un tube de verre contenant de l'eau, le tout disposé de la manière suivante. Le tube de verre est coudé et renflé dans la coudure (fig. 8) ; de l'eau est introduite dans la partie basse de cette coudure et, avec une pince, une

Fig. 8.

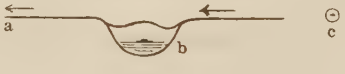

Fig. 9.

lamelle de mica m est mise à flotter sur cette eau. Cette lamelle porte une petite goutte de gélose solidifiée sur laquelle les spores ont été semées.

La première question que je me suis posée a été celle-ci : Les spores, disposées comme je viens de le dire, germeraient normalement si le tube coudé était complètement fermé ; mais si on y fait passer un courant d'air sec, y aura-t-il germination ?

La réponse est fournie par l'expérience suivante :

L'appareil comprend (fig. 9) un aspirateur A qui fait passer un courant d'air du laboratoire dans un tube sur le parcours duquel est intercalée une culture B flottant sur l'eau ; et une culture témoin C dans l'air saturé à la température du laboratoire.

L'expérience est commencée à six heures du soir, la tempéra-

ture étant de 16°. Le lendemain, à 10 heures du matin, la germination commence en C. A deux heures de l'après-midi, l'eau du tube B étant complètement évaporée, j'arrête le courant d'air et j'observe les cultures ; l'expérience a duré 20 heures.

Il y a quatre heures que la germination normale est commencée et, à ce moment, les tubes mycéliens sont assez longs en C. Il n'y a pas de germination dans la culture B, et cependant les spores pouvaient germer puisque, mises en chambre humide, elles ont donné des tubes mycéliens.

Comment expliquer cette action du courant d'air ?

Au repos, l'air serait saturé de vapeur d'eau sur la culture B ; dans le courant d'air relativement sec, celui-ci se charge de vapeur d'eau, et en même temps chasse l'air saturé qui baigne les spores. Dans le même temps la petite nappe d'eau émet de la vapeur qui arrive immédiatement sur les spores, puisque celles-ci sont presque au même niveau que la surface de la nappe d'eau sur laquelle elles flottent. Il s'établit donc, vis-à-vis de la spore, un antagonisme entre, d'une part, l'humidité propre du courant d'air et sa vitesse et, d'autre part, la vitesse d'émission de vapeur d'eau par la nappe. La résultante est que l'air en mouvement qui baigne à chaque instant les spores, renferme de la vapeur d'eau à une tension f, ou à des tensions f_1, f_2, etc... telles que $\frac{f_1}{F}$, $\frac{f_2}{F}$ etc ...., empêchent la germination de se produire ou la retardent beaucoup.

D'après ce raisonnement la germination serait sous la dépendance de la tension de la vapeur d'eau dans l'air en mouvement, F restant constant, $\frac{f}{F}$ ne dépendrait que de f ; elle serait aussi sous la dépendance de la vitesse du courant.

J'ai fait deux séries d'expériences pour m'en assurer.

Variation de la vitesse. — On conçoit très bien que l'air ayant une certaine vitesse et la germination ne se faisant pas dans le temps normal, si on augmente cette vitesse, on éloigne de plus en plus l'époque de cette germination ; et si on diminue la vitesse, on se rapprochera de plus en plus des conditions normales et la germination aura de plus en plus chance de se produire puisque, à la limite, quand la vitesse est nulle, elle se produit dans le temps normal.

Je me suis donc placé dans deux conditions différant l'une de l'autre par les vitesses du courant d'air.

L'appareil est formé par un tube à trois branches et un aspirateur A (fig. 10) faisant passer un courant d'air du laboratoire dans les branches C E et F E et le courant formé par la superposition des deux premiers, dans la branche E B A. Ce dernier courant a été réglé de manière à débiter environ 1 litre d'air à la minute ; cela fait une vitesse de 1/2 litre pour chacun des courants C E et F E.

Des cultures flottant sur l'eau ont été intercalées en C et en B. Sur la culture C, la vitesse est 1/2 quand sur B elle est égale à 1. En D, se trouve représentée une culture témoin dans l'air saturé.

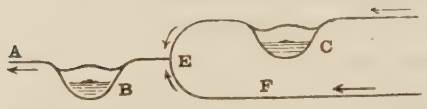

Fig. 10.

L'expérience a été mise en marche à 4 h. 1/2 du soir et continuée jusqu'au surlendemain à 11 h. du matin, ce qui fait une durée de 42 h. 1/2.

La température a peu oscillé autour de 15°.

Dans la culture témoin la germination était commencée après 18 heures. A la fin de l'expérience, c'est-à-dire après 42 h. 1/2, la culture témoin présentait un mycélium très développé ; la culture C était germée depuis quelque temps mais avec un retard considérable sur D, à en juger par les tubes mycéliens ; enfin, la germination commençait à peine dans la culture B. C'est ce que nous avions prévu : la germination dépend de la vitesse du courant d'air ; elle se fait plus rapidement quand la vitesse du courant d'air diminue et inversement.

Variation de la tension de vapeur d'eau dans l'air du courant. — L'appareil est construit sensiblement de la même manière que dans l'expérience précédente. Cependant, au lieu de faire passer de l'air du laboratoire seulement, j'ai fait circuler de l'air desséché dans un courant, et de l'air presque saturé de vapeur d'eau dans l'autre ; c'est ce qui a compliqué le dispositif.

Il présente donc un système à trois branches dans lequel un aspirateur A (fig. 11) fait circuler de l'air suivant deux voies, d'abord S C E et H m M E, puis l'unique voie E B n A.

En S, se trouve un dessiccateur ; en C, une culture flottant

sur l'eau, en E, un tube de verre à trois branches ; en H, deux flacons laveurs dans lesquels l'air barbote dans l'eau pure et se sature presque complètement à la température du laboratoire ; en m, une culture en tube P de la figure 4 ; en M, une autre culture flottant sur l'eau.

Fig. 11.

A partir de E, les deux courants d'air se superposent en un seul qui passe, en B, sur une troisième culture flottant sur l'eau ; en m, sur une culture en tube P.

L'expérience commence à 6 h. du soir, à la température de 16°5 et se continue jusqu'au lendemain à 2 h. de l'après-midi. Cela fait une durée de 20 heures. Quatre heures avant l'arrêt, la culture témoin D avait commencé à germer.

Voici les résultats de l'observation :

Germination en m, M, B, D.

Pas de germination en C, n.

Il y avait germination dans quatre cultures, mais très inégalement et, à en juger par la longueur des tubes mycéliens, cette germination avait commencé d'abord en D, après environ 16 heures, puis en M, ensuite en m et, finalement, en B où elle semblait débuter à la fin de l'expérience.

Il résulte de cette observation que l'air du courant humide était suffisamment chargé de vapeur d'eau puisque m a germé. En outre, les courants S C E et H m M E, ayant même vitesse, mais étant inégalement chargés de vapeur d'eau ou encore étant formés par de l'air dans lequel la tension de la vapeur était presque maxima dans un cas et presque nulle dans l'autre, les cultures germent très inégalement ; c'est ce que nous voulions vérifier. La germination des spores M, flottant sur l'eau, dans le courant d'air où la tension de vapeur est la plus élevée, se fait plus vite que celle des spores C flottant aussi sur l'eau mais dans le courant d'air où la tension est la plus faible, en supposant que cette germination pût se faire, ce qui n'est guère probable puisque l'eau du tube C disparaissait peu à peu.

Donc, plus la tension de la vapeur d'eau, dans un courant d'air

frôlant des spores flottant sur l'eau, sera grande, plus la germination se fera vite et inversement. Pour arriver à la même conclusion, nous pourrions invoquer l'attitude de la culture B comparée à celle de M ; mais en B, à l'action de la tension de vapeur d'eau s'ajoute l'action de la vitesse des courants, vitesse qui, en B, est égale à 2 quand, en M, elle est égale à 1. Pour cette raison et puisque la comparaison de M à C suffit, je n'insiste pas. Faisons, pour en finir avec cette expérience, deux remarques intéressantes.

Tout d'abord, il semble que, dans le cas considéré, la germination varie avec f et ne dépend que de f, c'est une apparence. En réalité, la température étant la même dans les deux branches, si f varie, $\frac{f}{F}$ varie de la même manière et c'est ce rapport, cet état hygrométrique qui règle toujours la germination dans ces expériences comme dans toutes les précédentes.

Remarquons, en second lieu, que les expériences faites avec des spores flottant sur l'eau, donnent des résultats comparables aux résultats de celles que nous avons déjà faites avec des spores semées sur gélose et placées dans les tubes de verre P ; c'est ce qu'indique la double comparaison de m avec M et de n avec B. Les résultats sont de même sens : il y a, en m, retard sur M de même que, en n, il y a retard sur B. La seule différence consiste en ceci que dans les tubes P, les cultures ne peuvent recevoir de vapeur d'eau que du courant d'air, tandis que dans les tubes courbés à spores flottant sur l'eau, les cultures peuvent recevoir de la vapeur d'eau à la fois du courant d'air et de la nappe d'eau sur laquelle elles flottent. Si on répétait, avec ces tubes courbés, les expériences déjà faites avec les tubes P, nous obtiendrions des résultats nécessairement différents quant à la valeur absolue des mesures, mais probablement de même sens quant à l'allure générale.

J'insiste d'une manière toute spéciale sur cette deuxième remarque qui doit être faite parce que, à première vue, beaucoup de personnes pourraient trouver mes expériences oiseuses et mes théories paradoxales. En effet, sachant que les spores ont besoin de vapeur d'eau pour germer dans l'air, si ces spores sont rapprochées d'une nappe d'eau liquide jusqu'à la toucher presque, jusqu'à reposer dessus, on est porté, dans un premier mouvement, à trouver ridicule un chercheur qui se demande si, dans ces con-

ditions, ces spores peuvent ne pas germer. Et cependant elles peuvent ne pas germer ou, au moins, subir un fort retard dans leur germination, si on fait passer sur ces spores un courant d'air suffisamment sec, ou possédant une vitesse suffisamment grande. C'est ce que mes expériences viennent de démontrer.

Je n'ai pas repris, avec les cultures sur eau, toutes les expériences faites avec les tubes P, mais il en est une que j'ai voulu répéter, c'est celle dans laquelle il y a alternance régulière d'un courant d'air sec et d'un courant d'air humide sur les spores, pour préparer l'étude de ce qui peut se passer dans la respiration, chez l'Homme, quand l'air sec de l'inspiration alterne régulièrement avec l'air humide de l'expiration, sur des spores déposées sur la paroi humide des voies respiratoires.

L'appareil (fig. 12) est le même que dans la figure 10 à quelques détails près.

Je n'ai rien intercalé dans la branche où passe le courant d'air desséché en S, nous savons qu'il ne peut y avoir germination et ce n'est pas là qu'est l'intérêt. La branche dans laquelle circule le courant d'air presque saturé, après son passage en H, contient une culture m, en tube P. Par la manœuvre du robinet à trois voies R, les deux courants passent en alternance régulière, suivant la mesure à deux temps, dans la branche Rn BA, frôlant, en n, une culture dans un tube de la forme P et, en B, une culture flottant sur l'eau dans un tube courbé.

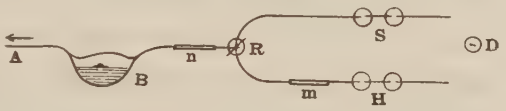

Fig. 12.

Le débit de l'aspirateur a été réglé de manière à faire passer environ 1 litre d'air à la minute.

L'expérience a commencé à 6 h. du soir et a été continuée jusqu'au lendemain à 4 h. du soir ; elle a donc duré 22 heures. La température a varié de 15°5 à 16°.

La germination a commencé vers 10 heures du matin dans la culture témoin D, par conséquent après 16 heures.

Voici les résultats, à la fin de l'expérience :

Germination en D et m ;

Pas de germination en B et n.

La germination en m était un peu en retard sur celle de la culture témoin D, mais elle était abondante et très avancée ; cela prouve que le courant d'air humide n'était pas tout-à-fait saturé, mais qu'il permettait très bien la germination des spores.

Le défaut de germination en n nous rappelle exactement le résultat de la première expérience du chapitre IV ; en B, il est intéressant à deux points de vue. A un premier point de vue, il nous intéresse parce qu'il nous montre que, même sur l'eau, nous obtenons des résultats tout à fait de même sens que ceux que nous avons notés dans ce chapitre IV, avec des cultures en tubes droits de la forme P. Il nous intéresse à un second point de vue, car l'expérience schématise approximativement la respiration de l'Homme et nous y voyons que l'alternance régulière d'un courant d'air sec et d'un courant d'air presque saturé et permettant la germination des spores, empêche la germination de spores flottant sur l'eau ou, au moins, retarde cette germination de plus de six heures sur la germination normale.

Ces expériences, comme les précédentes, s'expliquent très bien en admettant que la germination ne dépend pas de f, mais de $\frac{f}{F}$.

En résumé toutes les expériences que j'ai faites avec des spores placées dans l'air humide confirment directement ou indirectement la loi de l'état hygrométrique ; directement en la démontrant d'une manière indiscutable, indirectement en s'expliquant facilement par elle.

J'en ai décrit un très grand nombre, par ce que j'ai pensé que si certaines présentent quelques imperfections, la persistance des résultats de même sens atténuera ces imperfections et parce que les petits défauts de quelques-unes disparaîtront dans l'ensemble puisque toutes se corroborent les unes les autres.

Je terminerai cette partie de mon travail en rappelant cette loi : La germination des spores placées dans l'air humide dépend moins de la quantité absolue de vapeur d'eau, par unité de volume de cet air, ou encore dépend moins de la tension f que prend la vapeur d'eau dans cet air que de l'état hygrométrique $\frac{f}{F}$. La vitesse de germination augmente quand l'état hygrométrique augmente, diminue quand l'état hygrométrique diminue, et il y a un état

hygrométrique limite au-dessous duquel la germination ne se fait plus. Cet état hygrométrique limite est compris entre 0,82 et 0,84 pour le *Penicillium glaucum*. D'après les expériences faites jusqu'à présent et, à peu près dans les mêmes limites de température, il y aurait pour le *Sterigmatocystis nigra*, un état hygrométrique limite un peu plus élevé que 0,84.

Je ne repéterai pas les conclusions particulières des divers chapitres de cette partie, me contentant de celle-là qui domine toutes les autres et les a préparées.

SUR LE DEGRÉ DE POSSIBILITÉ DE LA GERMINATION DES SPORES DANS LES VOIES RESPIRATOIRES DE L'HOMME

Les spores, considérées sur un point de la paroi des voies respiratoires, peuvent ne pas germer parce que le régime hygrométrique est défavorable ou, quand elles germent, la germination peut subir des retards qui sont sous la dépendance des conditions extérieures et intérieures à l'Homme, modificatrices du régime hygrométrique et modifiables elles-mêmes dans une certaine mesure.

Maintenant que nous connaissons l'hygrométrie des voies respiratoires et la loi de germination des spores dans l'air humide, voyons quelle pourra être l'attitude d'une spore placée sur la paroi interne de ces voies.

Cette spore germera-t-elle comme dans l'air saturé, subira-t-elle des retards de germination ou, même, pourra-t-elle ne pas germer?

Nous considérerons de préférence la région A B et, dans cette région, plus particulièrement le point B et les points C dans la trachée et les bronches.

POSSIBILITÉ DE LA GERMINATION DES SPORES EN B

Pour savoir comment se ferait la germination en B, établissons les états hygrométriques en partant du régime hygrométrique de ce point qui nous est connu. Nous savons, en effet, qu'il est frôlé alternativement par deux courants inverses d'air dans lequel se trouve de la vapeur d'eau à des tensions qui varient :

de f_4 à f_2, dans l'inspiration ; de f_2 à f_4, dans l'expiration.

Nous ne connaissons ni f_2 ni f_4, mais nous savons que f_2 est comprise entre f_1, la tension dans l'air extérieur, et f_3, la tension mesurée par l'hygromètre dans l'air expiré normalement ; que f_4 est comprise entre f_3 et f_5, la tension mesurée par l'hygromètre dans l'expiration forcée.

Comme je veux arriver à montrer que la germination peut ne pas se faire ou qu'elle sera fortement retardée, si je prends les valeurs les plus élevées, c'est-à-dire les moins favorables à cette vue théorique et si je démontre qu'elle est vraie quand même, ma démonstration n'en sera que mieux faite. Appliquons : f_4 variant entre f_5 et f_3, faisons-la égale à f_5 ; et f_2 variant entre f_1 et f_3, faisons-la égale à à f_3. L'énoncé précédent des variations sera donc ramené à deux courants inverses frôlant alternativement B et formés par de l'air contenant de la vapeur d'eau à une tension variant :

de f_5 à f_3, dans l'inspiration ;

de f_3 à f_5, dans l'expiration.

Nous avons mesuré f_3 et f_5 dans plusieurs expériences, prenons les valeurs les plus élevées, celles qui sont défavorables à mes vues théoriques, nous aurons :

$f_3 = 38^{mm}6$;

$f_5 = 41^{mm}8$.

La tension variera donc dans l'air des courants :

de $41^{mm}8$ à $38^{mm}6$, dans l'inspiration ;

de $38^{mm}6$ à $41^{mm}8$, dans l'expiration.

Les spores placées en B prennent la température de la paroi, celle du corps humain, soit $37^{o}5$ pour laquelle la tension maxima est $47^{mm}9$; les états hygrométriques successifs seront :

Pour la tension f_3, $\frac{38,6}{47,9} = 0,80$.

Pour la tension f_5, $\frac{41,8}{47,9} = 0,87$.

Les spores seront donc soumises à un état hygrométrique variant :

de 0,87 à 0,80, dans l'inspiration ;

de 0,80 à 0,87, dans l'expiration.

Que peut-il se passer sous l'influence de ces états hygrométriques successifs ?

Pour ces spores de *Penicillium glaucum*, il n'y aura germination qu'après un temps très long, puisque l'état hygrométrique le plus

élevé est au voisinage de l'état hygrométrique limite de germination, 0,82 à 0,84. En réalité, le cas n'est pas à discuter, car la température 37°5 est voisine de la limite supérieure de germination de ce *Penicillium*, 41 à 43°, de telle sorte que, même à un état hygrométrique égal à 1, les spores germeraient mal. Mais, pour d'autres Champignons tels que le *Sterigmatocystis nigra*, dont l'optimum de température est 37°5 ou au voisinage de 37°5, il y a lieu de discuter sérieusement.

Rappelons-nous que l'état hygrométrique limite pour le *Sterigmatocystis nigra* est un peu au dessus de 0,84. Dans ces conditions et dans les conditions que nous venons de définir pour une spore placée en B, la germination ne se fera pas encore ou se fera après un temps très long.

Essayons de nous en rendre compte en envisageant, dans les recherches de la deuxième partie, deux séries d'expériences comme éléments de discussion : 1° expériences de germination des spores dans les tubes de verre P ; 2° expériences de germination des spores flottant sur l'eau.

Discutons avec la première série.

D'après ces expériences, la germination des spores de *Sterigmatocystis nigra* ne se ferait pas. En effet, si nous nous reportons au chapitre V de la deuxième partie, nous voyons que les spores ne germent pas ou présentent un retard d'au moins quatre heures, à la température de 27°, quand on les soumet au passage alternatif de deux courants d'air saturés l'un à 23°5, l'autre à 27°, c'est-à-dire, après calculs faits, quand on les soumet à deux états hygrométriques alternatifs, l'un de 0,81, l'autre de 1. Remarquons que ces états hygrométriques sont beaucoup plus favorables que les états hygrométriques 0,80 et 0,87 des voies respiratoires. Par conséquent si la germination subit un fort retard dans le premier cas, elle devra subir un retard beaucoup plus grand dans le second.

Si nous appliquons les résultats de cette série d'expériences, nous serons donc amenés à admettre la non germination en B ou, au moins, une germination très fortement retardée.

Discutons avec la deuxième série d'expériences, celles du chapitre VI.

D'après ces expériences nous voyons que l'alternance de deux courants d'air, l'un sec, l'autre saturé de vapeur d'eau, sur des

spores flottant sur l'eau, suffit pour empêcher la germination ou, au moins, pour la retarder. Nous avons vu aussi que la germination est sous la dépendance de la tension de vapeur d'eau dans l'air de ces courants, par conséquent, de l'état hygrométrique apparent auquel sont soumises ces spores, en ne tenant compte que de la température de l'expérience et de la tension de l'air des courants. En conséquence, si nous faisons les calculs, nous pouvons dire que ces spores ne germent pas ou subissent un retard de germination quand on les soumet à l'alternance de l'état hygrométrique 0 et de l'état hygrométrique 1.

En B, nous avons alternance des états hygrométriques 0,80 et 0,87, l'un au-dessous, l'autre à peine au-dessus de la limite de germination; il ne me paraît donc pas exagéré de penser que si la germination peut se faire quand même, du moins sera-t-elle fortement retardée.

C'est une conclusion qui est tirée des raisonnements précédents dans lesquels j'ai considéré les tensions f_3 et f_5 comme limites de la tension variable de la vapeur d'eau dans l'air en mouvement dans les voies respiratoires. Mais nous savons que ce sont des limites dont les valeurs sont trop grandes; si nous considérions les valeurs plus petites et vraies f_2 et f_4, cette conclusion ne s'en imposerait que mieux.

POSSIBILITÉ DE LA GERMINATION DES SPORES EN C.

Dans le chapitre précédent, nous arrivons à dire que les spores ne germeraient pas ou que leur germination subirait un fort retard en B, où les tensions de vapeur d'eau varient de f_2 à f_4, où l'état hygrométrique apparent varie de $\frac{f_2}{F}$ à $\frac{f_4}{F}$ quand f_2 tend vers f_3 et quand f_4 tend vers f_3. Si, au lieu de tendre vers ces valeurs élevées, les tensions tendaient vers des valeurs beaucoup plus basses, f_2 vers f_1 et f_4 vers f_3, les conditions de germination deviendraient de plus en plus défavorables. C'est ce qui se produit aux points C au fur et à mesure que ces points C sont de plus en plus éloignés de B et de plus en plus rapprochés de A.

Par conséquent, en un point C, intermédiaire entre B, l'entrée des bronches dans les poumons, et A, l'entrée des narines, la germination devra se faire encore moins bien qu'en B et d'autant moins bien que C sera plus rapproché de A.

POSSIBILITÉ DE LA GERMINATION DES SPORES DANS LES PARTIES ANTÉRIEURES DES VOIES RESPIRATOIRES

Remarquons que la germination est sous la dépendance de f_2 et f_4 ; remarquons, en même temps, que f_2 et f_4 sont elles-mêmes sous la dépendance des conditions intérieures et extérieures à l'Homme, en particulier de l'humidité de l'air extérieur, par exemple.

Il en résulte que, quand la germination est possible, nous pouvons la retarder encore en diminuant l'humidité de l'air inspiré, en modifiant le régime hygrométrique des voies respiratoires et les retards peuvent être considérables.

Au total, de quelque manière que nous envisagions les phénomènes qui peuvent se passer en B, ou aux points C, nous les trouvons toujours sous la dépendance du régime hygrométrique et nous arrivons toujours à l'une des alternatives suivantes :

Non germination,

Germination retardée pendant un temps variable à notre gré, dans une certaine mesure.

Et ces deux alternatives sont intéressantes à considérer dans leurs rapports avec l'établissement des mycoses, parce que la cause qui les provoque y trouve toute son importance.

La première alternative supprime la mycose à l'origine. La seconde, retardant la germination des spores pendant un temps assez long, permet aux autres agents locaux défavorables, chimiques, physiques et mécaniques, d'exercer toute leur action sur les spores inhalées et de les mettre hors d'état de nuire ; comme conséquence, la mycose aura d'autant plus de chance d'être compromise que les retards seront plus grands.

Le régime hygrométrique des voies respiratoires qui conduit à ces deux alternatives prend donc une importance capitale dans la première et une importance considérable encore dans la seconde, non seulement parce qu'il retarde la germination, mais encore et

surtout parce que, en même temps, il est modifiable à notre gré et parce qu'il peut devenir, entre des mains avisées, un instrument de défense.

Cette conséquence était trop intéressante pour en rester là ; il fallait, de toute nécessité, la vérifier chez l'Homme ou chez les animaux vivants. C'est ce que j'ai cherché à faire par l'observation et par l'expérience, comme nous allons le voir dans la partie suivante.

GERMINATION DES SPORES DANS LES VOIES RESPIRATOIRES DE L'HOMME ET DES ANIMAUX

Les spores peuvent germer dans les voies respiratoires de l'Homme et des animaux ; la germination est sous la dépendance du régime hygrométrique, c'est probable chez l'Homme, c'est certain chez les animaux où cette germination est modifiée par les conditions hygrométriques extérieures et la hauteur des points sur lesquels ces spores sont déposées dans ces voies.

D'après tout ce qui a été dit, la germination des spores dépend de l'état hygrométrique $\frac{f}{F}$; donc tout ce qui peut le faire varier, chez l'Homme ou chez les animaux, fera varier la germination des spores et deviendra favorable ou défavorable à l'établissement des mycoses.

Or, la paroi des voies respiratoires est à une température sensiblement constante, F restera donc sensiblement constant, et $\frac{f}{F}$ ne pourra varier qu'autant que f variera.

Chez l'Homme, nous savons comment cette tension f varie sous l'influence des circonstances intérieures et des circonstances extérieures. En particulier, nous avons vu que, si on considère l'air qui est dans les voies respiratoires au moment où va commencer l'expiration, cet air est chargé de vapeur d'eau à une tension qui augmente au fur et à mesure que, partant de l'entrée, on considère une tranche de plus en plus enfoncée dans les voies respiratoires ; que si on compare la tension de vapeur dans une même tranche et au même moment de la respiration, dans une atmosphère sèche, d'une part, et dans une atmosphère plus humide d'autre part, la

tension de cette même tranche est plus élevée quand on respire dans l'air humide que quand on respire dans l'air sec.

Les expériences et les observations à faire chez l'Homme devaient être basées sur ces données, de même que chez les animaux, en admettant que le régime hygrométrique de ces derniers fût comparable à celui du premier, ce que nous admettrons.

Comme conséquence de ces vues, les premiers essais à tenter devaient avoir pour but de comparer la germination dans quelques cas principaux groupés deux par deux dans les trois séries suivantes :

1° Germination dans la trachée ou dans les bronches, comparée à celle qui se fait dans l'air saturé de vapeur d'eau à la même température.

2° Germination comparée dans la trachée ou dans les bronches, de spores fixées à la même hauteur chez deux sujets très comparables et placés à la même température, l'un dans l'air sec, l'autre dans l'air humide.

3° Germination comparée de spores fixées dans les voies respiratoires d'un même sujet, mais à des profondeurs différentes.

Si mes vues théoriques sont fondées, il doit y avoir des différences, dans chaque série, d'un terme à l'autre ; germination dans un cas, pas de germination dans l'autre ; ou germination dans les deux cas, mais avec une vitesse de germination plus grande dans un cas que dans l'autre.

Voyons ce que j'ai pu réaliser de ce programme chez l'Homme et chez les animaux.

GERMINATION DES SPORES CHEZ L'HOMME

Etait-il possible d'étudier ce programme en entier chez l'Homme? Non, on ne peut pas, de parti pris, faire des expériences avec des spores de Champignons capables de germer chez l'homme et de provoquer, au moins dans quelques cas, des affections pseudo-tuberculeuses assez mal connues encore et dont la gravité nous échappe.

Mon rôle a donc été principalement de prendre des observations.

Comment peut-on observer la germination des spores dans les voies respiratoires ?

On ne peut pas le faire directement, c'est-à-dire on ne peut pas observer et suivre la germination des spores dans ces voies comme on la suit sur une préparation au microscope.

Ce n'est donc qu'indirectement que cette observation peut se faire, par la constatation de la présence de mycélium dans ces voies et dans les crachats qui en proviennent.

Les observations de spores de Champignons et de mycélium dans les crachats de certaines personnes sont assez nombreuses et assez connues maintenant (1) pour que je ne m'attarde pas à les signaler à nouveau. La seule chose que je désire dire à leur sujet, c'est que la présence de mycélium dans ces crachats n'est pas une preuve irréfutable que ce mycélium provient de spores ayant germé dans les voies respiratoires ; elle permet tout au plus de dire qu'il est probable que la germination s'y est faite.

Je ne me suis pas contenté de cette probabilité, j'ai cherché les moyens de pouvoir affirmer que la germination se fait dans les voies respiratoires. Pour cela, j'ai encore étudié les crachats, mais dans des circonstances particulières qui réalisent presque les conditions d'une expérience, dans laquelle on fait un semis, dont on prélève de temps en temps les organes reproducteurs semés, pour suivre les progrès de la germination.

Pour exécuter cette expérience sur le vivant et chez l'Homme, je me suis adressé à des sujets de bonne volonté qui faisaient eux-mêmes les semis et les prélèvements dans les voies respiratoires sans rien changer à leurs habitudes et sans courir plus de risques que si je ne leur avais rien demandé.

Ces sujets étaient des personnes travaillant dans la poussière, à la période de la récolte des foins, des blés, etc... ou pendant le remaniement des pailles et des grains ; ils faisaient eux-mêmes les semis en inhalant cette poussière avec les spores qu'elle contient, ils pratiquaient des prélèvements en rejetant cette poussière dans leurs crachats. Pour rendre leurs prélèvements instructifs et l'expérience concluante, je demandais à chaque sujet de cracher, le soir d'une journée de travail dans la poussière, directement dans un flacon contenant de l'alcool afin de fixer l'état actuel des cultures ; puis de faire la même opération le lendemain matin. De

(1) L. Rénon, *Étude sur l'aspergillose chez les animaux et chez l'Homme*, 1897.

la sorte, mon expérience n'ajoutait rien aux dangers de leur métier et ne demandait qu'une opération facile à exécuter et qu'ils exécutaient avec soin, les uns heureux de satisfaire ce qu'ils croyaient être une douce manie, les autres pour rendre service à la science, comme ils le disaient quelquefois.

J'ai étudié les crachats de plus de cinquante personnes placées dans ces conditions. Ces crachats avaient été obtenus de deux manières : 1° par expiration violente pour avoir du mucus provenant de la trachée ou des parties plus profondes ; 2° par expiration violente après une inspiration violente pour avoir du mucus à la fois des fosses nasales et des parties profondes des voies respiratoires.

J'ai fait le plus souvent l'étude de ces crachats en les traitant par la potasse diluée et chauffée. Elle m'a toujours montré des fragments très divers accompagnant le mucus et, en même temps, des spores de plusieurs sortes de Champignons non germées ou à des états plus ou moins avancés de la germination. Nous pouvons, à ce point de vue, distinguer trois catégories de crachats :

1° Ceux dans lesquels la germination était commencée le matin seulement ;

2° Ceux dans lesquels la germination était commencée le matin et même le soir, mais inégalement avancée ;

3° Ceux dans lesquels il n'y avait de spores germées ni le soir ni le matin.

Discutons la valeur de ces trois catégories d'observations.

1° Des crachats étant recueillis le soir d'une journée de travail dans la poussière et le lendemain matin, les spores contenues dans ces crachats n'étaient germées que dans ceux du matin.

Quand on veut connaître le moment où commence la germination dans une culture expérimentale, on procède de plusieurs manières, et l'observation peut être directe ou indirecte.

Quand l'observation est directe, elle peut être continue ou fractionnée ; dans le premier cas, on observe directement et continuellement les spores au microscope ; dans le second, l'observation est faite en plusieurs fois après des temps égaux autant que possible, par exemple, toutes les heures, les demi-heures, etc...

Dans l'observation directe continue, on voit les spores se gonfler

puis produire le tube mycélien, c'est-à-dire toutes les phases de la germination.

Dans l'observation directe fractionnée, on observe la culture jusqu'à l'apparition de ce tube mycélien ; alors on est en droit de dire que si l'observation dans laquelle on voit le tube pour la première fois est la n^e, la germination s'est révélée de la $n^e - 1$ observation à la n^e observation et que cette germination s'est faite à peu près dans n ou $n - 1$ unités de temps, en appelant unité le temps qui sépare deux observations consécutives. La vitesse de germination s'exprime relativement par $\frac{1}{n}$ ou $\frac{1}{n-1}$.

Quand l'observation ne peut se faire directement, la culture ne pouvant être observée au microscope, on s'arrange de façon à semer des spores aussi comparables que possible et en quantité suffisante pour pouvoir faire plusieurs prélèvements. Ce sont ces prélèvements, faits après des temps égaux, qu'on examine au microscope.

C'est une observation indirecte fractionnée.

Si ces prélèvements sont faits à des dates très rapprochées, la vitesse de germination peut se donner par $\frac{1}{n}$ au moins et par $\frac{1}{n-1}$ au plus, comme ci-dessus. Mais si les observations consécutives sont assez éloignées les unes des autres, on n'est plus en droit de dire que la germination s'est faite en $n - 1$ ou n unités de temps, mais on doit dire que cette germination s'est faite de la n^e observation moins une à la n^e observation. On n'a plus qu'une indication plus ou moins vague sur le temps nécessaire à la germination.

Dans le cas de nos crachats, la méthode employée est celle de l'observation indirecte fractionnée et le résultat est que la germination s'est faite depuis le soir jusqu'au lendemain matin. C'est une indication un peu vague du temps que demandent les spores pour germer, mais c'est l'assurance que la germination s'est faite pendant la nuit et, ce qui nous intéresse surtout, que cette germination s'est faite chez l'homme.

Il y aurait bien le cas de spores déjà germées au moment de l'inhalation, que l'observation du soir n'a pas décelées et qui par

hasard se sont trouvées dans les seuls crachats du matin. Si l'expérience était unique, la critique serait peut-être fondée ; mais ces faits se sont retrouvés un grand nombre de fois et je ne puis admettre que le hasard se soit acharné à me tromper tant de fois. Au surplus, j'avais un moyen de me défendre contre ce malencontreux hasard, et je l'ai utilisé. Les spores germées avant l'inhalation présentent, le plus souvent, un tube mycélien d'une couleur très différente de celle que possède le tube mycélien accompagnant une spore qui germe : dans le premier cas, il est plutôt brunâtre foncé, dans le second, il est clair, transparent.

Dans les crachats du matin, je ne tenais compte que de la dernière sorte de tubes mycéliens.

Les spores de champignons germent donc dans les voies respiratoires de l'homme.

2° Des crachats étant recueillis le soir d'une journée de travail dans la poussière et le lendemain matin, des spores germées se trouvaient dans les deux sortes de crachats, mais inégalement germées.

En étudiant attentivement mes préparations, j'ai acquis la certitude que, si des spores étaient germées dans les crachats du soir et dans ceux du matin, les tubes mycéliens étaient beaucoup plus courts dans les premiers A que dans les seconds B comme l'indique la figure 13.

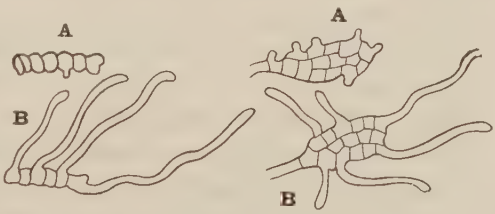

Fig. 13. — A, spores des crachats du soir ; B, spores des crachats du lendemain matin.

Comment interpréter cela ?

Revenons à nos cultures expérimentales et à l'observation indirecte fractionnée d'après laquelle nous avons dit que la germination s'est faite entre la $n^e - 1$ et la n^e observation ; supposons que nous continuions nos observations après la n^e et que nous comparions les résultats par exemple de la n^e à la $n^e + 1$. Nous verrons dans la n^e des tubes mycéliens courts, sortant à peine des spores ; dans la $n^e + 1$ nous trouvons des tubes mycéliens un peu plus longs parce que du temps n au temps, n + 1, le tube mycélien déjà formé au temps n, s'est développé sur un milieu suffisamment

favorable et parce que la germination a été continuée pendant une unité de temps. Entre la n^e observation et la $n^e + m$ nous aurons des différences plus grandes encore ; tube court à la n^e, filament mycélien très long à la $n^e + m$. De la comparaison de ces deux dernières observations on tire la conclusion suivante : la germination est commencée dans les deux cas et le tube mycélien a continué à se développer du temps n au temps $n + m$ parce que les conditions de la culture le permettaient.

C'est ce dernier cas que nous retrouvons dans l'étude des crachats de la deuxième catégorie : n^e observation, dans les crachats du soir ; $n^e + m$ observation dans les crachats du matin. La même conclusion doit s'en tirer.

Ces crachats de la deuxième catégorie prouvent donc, après ceux de la première catégorie, non seulement que les spores germent dans les voies respiratoires, mais que la germination s'y continue et que le mycélium s'y développe. Ceci indique que les conditions dans lesquelles sont les spores se trouvent suffisamment favorables à la germination et à un développement ultérieur du mycélium.

Donc les spores germent dans les voies respiratoires de l'homme et le mycélium peut s'y développer.

3° Des crachats étant recueillis le soir d'une journée de travail dans la poussière et le lendemain matin, les spores qu'ils contiennent ne sont germées dans aucun.

L'indication que les spores n'ont pas germé doit se discuter. En effet, nous pouvons dire que la germination ne s'est pas faite soit parce que le temps du séjour des spores dans les voies respiratoires n'a pas été suffisamment long, soit parce qu'elle était impossible et ne pouvait pas se faire dans les conditions réalisées par ces voies.

Reprenons séparément ces deux manières de voir.

La germination ne s'est pas faite parce que les spores n'ont pas séjourné pendant un temps suffisamment long dans les voies respiratoires.

C'est possible, mais remarquons que dans d'autres cas, dans des opérations faites de la même manière et pendant le même temps, la germination s'est très bien effectuée. Il y aurait donc au moins retard dans la germination. A quoi tient ce retard ? Il peut tenir

aux conditions extérieures, aux conditions intérieures et aux spores elles-mêmes.

Je n'ai malheureusement pas les moyens de discuter les conditions extérieures des cas nombreux et variés dans lesquels j'ai eu recours à mes sujets. Tout au plus pourrais-je indiquer la température, parce que j'ai fait des observations à presque toutes les époques de l'année ; mais la température extérieure a peu d'importance puisque les spores se trouvaient à la température du corps humain dans tous les cas.

On serait encore tenté de dire que les spores ne germaient pas parce qu'elles avaient perdu leur faculté germinative. Mais il n'en était rien puisque les poussières cultivées dans l'air humide, sur gélose, à 37°5, renfermaient des spores de même forme que celles des observations précédentes et qui germaient très bien.

On pourrait encore dire que ces spores étaient assez modifiées et différentes les unes des autres pour que leur germination ne se fît plus dans le même temps, d'où la cause du retard dans la germination de quelques-unes.

Pour discuter cette manière de voir, il aurait fallu faire germer les spores des poussières dans tous les cas, dans l'air humide et à 37°5. Si je l'ai fait pour quelques-unes, il m'a été matériellement impossible de le faire pour d'autres qui ne m'ont pas été envoyées en même temps que les crachats. La part de cette influence propre des spores sur la germination ne peut donc s'établir rigoureusement.

Quant aux conditions intérieures, il devient extrêmement difficile de les discuter. Sur les cinquante sujets qui ont bien voulu se prêter à mes recherches et dans les crachats desquels j'ai trouvé des spores, germées ou non, il y a des différences individuelles que je ne puis songer à établir ; et, pour un même sujet ayant fourni des crachats à des dates différentes, il s'est présenté des états différents que je n'ai pu noter.

Donc, de ce côté encore, mes observations sont loin d'atteindre la valeur d'expériences menées sûrement.

J'ai cherché un intermédiaire entre la simple observation et l'expérience proprement dite. Entre autres idées que ces divers cas de non germination m'avaient suggérées se trouvait la suivante. La germination ne se fait pas parce que certains Hommes, sont habitués à vivre dans la même poussière et entraînés à cons-

tituer un milieu défavorable à cette germination. Par opposition si on considère certains autres Hommes non habitués à vivre dans cette poussière, ils ne sont pas entraînés à former un milieu défavorable à la germination ; par conséquent, si on les place dans cette poussière, les spores qu'ils inhaleront pourront peut-être germer.

J'ai fait personnellement un essai, en me conformant à cette idée, de la manière suivante. J'ai passé une après-midi, dans une minoterie, en compagnie d'un garde-nettoyage ; j'y ai inhalé les mêmes poussières que lui, pendant quatre heures ; à la fin de la séance, j'ai recueilli isolément quelques crachats émis par nous deux ; le lendemain matin, j'ai fait une nouvelle prise de crachats. En examinant ces crachats, j'ai constaté la présence de spores dans tous ; mais, pas plus dans les miens que dans ceux du garde-nettoyage, je n'ai trouvé de germination. Je ne puis donc avoir d'indication précise sur la cause du retard dans la germination.

En ce qui concerne la seconde manière de voir qui consisterait à dire que la germination ne s'est pas faite parce qu'elle était impossible, je ne puis rien fournir de plus que ce qui a été dit.

Ce qui ressort de cette étude se limite donc à ceci : Les spores inhalées par l'Homme germent dans certains cas dans les voies respiratoires, et ne germent pas dans d'autres cas. Quand elles germent, le mycélium peut continuer à se développer ; ce qui indique que ces voies ne constituent pas un milieu absolument défavorable à la germination. Quand elles ne germent pas nous n'avons rien pour expliquer suffisamment cette non germination.

Nous n'avons rien, puisque les conditions extérieures à l'Homme et les conditions fournies par les spores elles-mêmes ne peuvent nous expliquer le retard dans la germination ou la non germination absolue ; et, enfin, puisqu'il nous est difficile d'établir les conditions intérieures à l'Homme.

Cependant, si je veux épuiser tous les raisonnements et tous les matériaux que je possède, je dois dire que, de la comparaison des divers sujets observés, il ressort une notion qui peut se discuter favorablement à mes vues, sans compter, d'ailleurs, que l'on puisse considérer cette discussion comme définitive quand je l'aurai donnée.

Les personnes auxquelles je me suis adressé peuvent se ranger

en deux catégories. Dans la première se trouvent celles qui travaillent les graines, pailles et foins au moment de la récolte, et dans les crachats desquelles les spores étaient le plus souvent germées ; dans la seconde, les personnes qui remanient les graines à n'importe quel moment de l'année et dont les crachats ne renfermaient pas de spores germées. J'avais d'abord établi cette classification pour distinguer les personnes inhalant les spores nouvelles des personnes inhalant les spores anciennes, et arriver à dire que la germination ne s'est pas faite dans la seconde catégorie, peut-être parce que les spores étaient plus âgées que dans la première, ou peut-être parce qu'elles étaient trop âgées pour germer.

Il y a probablement du vrai dans cette opinion, mais, à elle seule, elle ne suffit pas pour expliquer la non germination. En effet, dans cette manière de voir, nous revenons à l'influence de l'état de la spore que nous avons déjà traité, mais qu'il faut reprendre alors, en insistant. Voici une observation de la fin d'avril, par conséquent d'une époque à laquelle les graines et les spores qui les accompagnent sont relativement très âgées. J'ai recueilli dans l'alcool, un soir et le lendemain matin, des crachats provenant du garde-nettoyage dont j'ai déjà parlé ; en même temps, j'ai semé sur gélose la poussière de la salle où travaille cet Homme et j'ai placé les cultures dans l'air humide à 37°5 pendant la nuit. A l'observation, les crachats montrent bien des spores nombreuses, mais non germées, pas plus dans les crachats du matin que dans ceux du soir ; au contraire, dans les cultures sur gélose, la germination a fourni des filaments mycéliens déjà assez longs après 17 heures, ce qui indique que la germination s'y est faite dans un temps beaucoup plus court que 17 heures. Par conséquent l'âge des spores ne peut pas être invoqué pour expliquer la non germination pas plus qu'un retard dans la germination.

J'ai repris cette classification en suivant une idée différente et qui se rapporte plus ou moins bien à l'action de l'état hygrométrique sur la germination des spores.

Laissant de côté la notion de l'âge des spores, j'ai considéré les conditions dans lesquelles se sont trouvés mes sujets, et j'ai été frappé par les coïncidences suivantes. Au moment de la récolte, les personnes appartenant à la première catégorie sont surmenées

de diverses manières et se trouvent dans des états sur lesquels il faut appeler l'attention.

En général, que ce soit pour la mise en grange des foins, la récolte ou le battage des Blés, ces opérations se sont faites, le plus souvent, à la hâte, parce que c'est le mauvais temps qui menace, parce qu'on veut s'en débarrasser le plus tôt possible et pour d'autres raisons encore. C'est aussi la période des fortes chaleurs, pour cette raison et parce qu'on travaille activement, on a chaud et on boit beaucoup, on transpire davantage. En un mot le régime hygrométrique est absolument modifié dans toutes ses manifestations pendant ces moments de l'année ; en particulier l'hygrométrie des voies respiratoires est exaltée. C'est dans ces moments-là que j'ai recueilli les crachats et que j'y ai trouvé des spores germées.

Dans la seconde catégorie, se trouvent des minotiers, des marchands de grains qui exercent leur métier toute l'année avec la même intensité, à quelques légères variations près, et qui ne se surmènent certainement pas autant que les cultivateurs au moment des récoltes. En tout cas, j'ai recueilli les crachats à des moments qui ne coïncidaient nullement avec une suractivité considérable, pas plus qu'avec un régime hygrométrique profondément modifié. Ces crachats contenaient bien des spores, mais des spores non germées.

Voici des chiffres à l'appui de ce que je viens de dire sur cette classification :

Je retrouve dans une liste résumant toute une longue série d'observations, 16 personnes appartenant à la première catégorie et 9 appartenant à la seconde. Les crachats contenant des spores germées avaient été émis par 14 personnes, toutes de la première catégorie. Les crachats de toutes les personnes de la seconde catégorie et de deux seulement de la première contenaient seulement des spores dont aucune n'était germée.

Y aurait-il autre chose qu'une simple coïncidence entre ces faits ?

On est porté à y trouver un rapport de cause à effet d'autant mieux que nous avons vu, au chapitre I de la première partie, que, à l'état de grande activité, la tension de vapeur d'eau de l'air expiré est plus élevée qu'à l'état de repos.

En effet, appliquons la loi de germination des spores de *Penicillium* dans l'air humide ; cette germination est sous la dépendance

de l'état hygrométrique $\frac{f}{F}$. Dans tous les cas considérés, F est constant ; si, comme nous venons de le voir, f augmente considérablement chez les personnes de la première catégorie seulement, $\frac{f}{F}$ doit y augmenter proportionnellement et, par conséquent, la germination tendre à s'y faire mieux et plus rapidement que chez celles de la seconde catégorie où f varie très peu, parce que leur activité, relativement moins grande, varie elle-même très peu.

Nous arrivons là à une explication de la différence dans la germination des spores inhalées par les deux catégories de personnes observées.

Pour résumer ce chapitre, nous pouvons dire que, dans quelques cas, les spores inhalées par l'Homme peuvent germer dans les voies respiratoires et le mycélium continuer à s'y développer; dans d'autres cas, la germination ne s'y fait pas ou est retardée pendant un temps assez long de durée inconnue jusqu'à présent.

Une explication du retard peut se donner en appliquant la loi de germination des spores de *Penicillium* dans l'air humide et en considérant la coïncidence qui se manifeste entre la germination et les conditions hygrométriques spéciales des voies respiratoires des personnes chez lesquelles cette germination a eu lieu.

La première partie de ce résumé est certaine et vérifiée ; la seconde est une explication qui aurait besoin d'être contrôlée avec soin. Le tout est intéressant parce qu'il appelle l'attention du médecin sur la possibilité des mycoses dans les voies respiratoires et sur une manière d'en envisager la genèse qui, bien que nouvelle, pourrait prendre une singulière importance si elle servait à expliquer de nouveaux faits chez l'Homme, et surtout, si l'on veut bien considérer qu'elle se vérifie chez quelques Oiseaux comme nous allons le voir dans le chapitre suivant.

GERMINATION DES SPORES CHEZ LES ANIMAUX

Les expériences que je ne pouvais songer à faire chez l'Homme, parce qu'elles nécessitent le sacrifice du sujet après chacune d'elles, se font couramment chez les animaux.

Pour réaliser le programme indiqué au commencement de cette

quatrième partie, j'ai tenté ces expériences en les modifiant de diverses manières pour arriver à trouver des résultats suffisamment démonstratifs. Je vais en rendre compte dans ce chapitre ; mais avant il me paraît utile de donner quelques explications au sujet du *Sterigmatocystis nigra* qui m'a servi dans ces expériences.

Tout d'abord, pourquoi me suis-je servi de ce Champignon plutôt que de l'*Aspergillus fumigatus*, par exemple, qui aurait fourni des résultats d'autant plus intéressants qu'il est sérieusement pathogène chez l'Homme et les animaux ? J'ai plusieurs raisons à donner, non du choix de ce *Sterigmatocystis nigra*, mais de la continuation de mes recherches avec cette espèce.

En premier lieu, quand j'ai songé à m'occuper des mycoses, j'avais déjà étudié le *Penicillium glaucum* et le *Sterigmatocystis nigra* dans de nombreuses expériences de physiologie végétale ; j'avais acquis, dans l'étude de la germination des spores de ces deux Champignons, des connaissances variées qu'il me paraissait légitime d'appliquer dans la mesure du possible. Dès les premiers essais tentés avec le *Penicillium glaucum* pour étudier expérimentalement le début des mycoses dans les voies respiratoires, je m'aperçus que je ne pouvais utiliser avantageusement ce Champignon. En effet, comme je l'ai dit déjà, les trois températures critiques pour la germination des spores de ce champignon sont 1°5, 22 à 26° et 41 à 43° ; en particulier, l'optimum est trop éloigné et la limite supérieure trop rapprochée de 38 à 40°, température des animaux sur lesquels je désirais expérimenter. Il n'en était plus de même pour le *Sterigmatocystis nigra* dont l'optimum est au voisinage de 38° et qui germe donc très facilement aux températures des expériences sur les animaux.

A ce point de vue, le *Penicillium* devenait inutile, mais le *Sterigmatocystis nigra* pouvait me servir. Il pouvait encore être avantageusement employé puisqu'il est quelquefois pathogène (1) et puisqu'il a été étudié comme tel par divers auteurs sous le nom d'*Aspergillus niger*, en même temps que d'autres *Aspergillus* dont il diffère par ses stérigmates ramifiés (2).

Enfin, il me convenait mieux que d'autres, en particulier que

(1) Fr. Saxer, *Pneumonomykosis aspergillina.* Iena, 1900, p. 61.

(2) Rénon, *Étude sur l'aspergillose chez les animaux et chez l'Homme ;* cf. p. 65.

l'*Aspergillus fumigatus* parce que ce *Sterigmatocystis nigra* est beaucoup moins pathogène que cet *Aspergillus fumigatus* (1).

Comme j'avais déjà constaté, dans mes crachats, que le *Sterigmatocystis nigra* peut germer dans les voies respiratoires, je n'éprouvais nullement le désir de faire, même accidentellement, la même constatation pour l'*Aspergillus fumigatus*, d'autant moins qu'il provoque la pseudo-tuberculose aspergillaire ou aspergillose de l'Homme et des animaux.

Après tout, je désirais moins faire l'étude attentive des mycoses que faire la vérification de mes vues théoriques concernant l'influence du régime hygrométrique des voies respiratoires sur la germination des spores amenées dans ces voies et, par conséquent, sur le début seul de ces mycoses. Le *Sterigmatocystis nigra* pouvait donc me suffire, puisque ses propriétés physiologiques lui permettent de germer chez l'Homme et chez les animaux, et parce que ses propriétés pathogènes ne sont pas trop redoutables et permettent d'appliquer, par comparaison, les résultats expérimentaux qu'il fournit à des Champignons plus pathogènes que lui.

Je me suis donc proposé de rechercher si les spores de *Sterigmatocystis nigra*, placées sur la paroi des bronches ou de la trachée germent plus lentement que dans l'air saturé de vapeur d'eau à la température de ces organes ; si cette germination subit des variations, quand l'animal vit dans l'air sec ou dans l'air humide ; et si, chez un même animal, cette germination se fait avec des vitesses différentes suivant la profondeur du point des voies respiratoires sur lequel ces spores sont fixées.

Pour faire des recherches conformément à ces données, je devais employer une méthode de culture très spéciale et un mode d'observation tout particulier ; voyons d'abord cette méthode, j'indiquerai ensuite les moyens que j'ai employés pour étudier les cultures et les variations qu'elles pouvaient présenter.

Les méthodes d'expérimentation auxquelles j'ai songé dès le début consistaient à faire inhaler des spores aux animaux ou à leur insuffler ces spores par la glotte ou par une ouverture pratiquée dans la trachée, puis, après un certain temps, à les sacrifier

(1) Th. A. Rothwel, *Dissertation on Aspergillosis*. The Victoria University, 1899, p. 66. — Macé, *Étude sur les mycoses expérimentales*. Archives de Parasitologie, VII, 1903.

pour rechercher ces spores dans les voies respiratoires et voir si elles avaient germé et de quelle manière. Mais ces méthodes présentaient plusieurs inconvénients. D'abord, il était difficile de faire arriver des spores en des points déterminés parce que, inhalées ou insufflées, ces spores pénétraient plus ou moins loin ; ensuite, même déposées sur des points précis de la paroi, elles pouvaient être déplacées par le mouvement des cils vibratiles et par l'expiration violente de l'animal, sans compter l'action des autres facteurs locaux. Or, nous savons que, chez l'Homme, l'air qui frôle un point de la paroi des voies respiratoires, renferme de la vapeur dont la tension varie entre des valeurs d'autant plus élevées que ce point est plus profond et d'autant plus basses qu'il est plus rapproché des fosses nasales. Si nous admettions les mêmes variations chez les animaux, il n'était donc pas indifférent de fixer ou non ces spores, de les envoyer sur un point ou sur un autre ; il fallait les placer en un point bien déterminé et les y maintenir pendant toute la durée de l'expérience pour rendre les résultats comparables.

C'est pour me conformer à ces exigences que je me suis créé une méthode toute particulière dont voici la suite des opérations spéciales : faire la trachéotomie entre deux cartilages ; introduire une culture sur gélose dans la trachée, la fixer solidement au point voulu de la paroi interne ; suturer cette trachée et la maintenir fermée jusqu'à la fin de l'expérience.

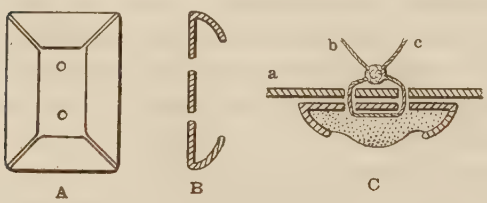

Fig. 14. — Boîte à culture grossie environ deux fois. — A, vue de face ; B, en coupe longitudinale ; C, mise en place et maintenue contre la paroi interne *a* de la trachée par le fil dont les bouts *b* et *c* sont noués à l'extérieur.

Les spores étaient semées sur une goutte de gélose coulée et encastrée dans une petite boîte de fer ou mieux d'aluminium, à la façon d'une pierre précieuse dans un chaton (fig. 14), et cette boîte était fixée à la paroi de la trachée de la manière suivante. La trachée était dégagée, chargée sur un stylet pour la faire bomber, et fendue transversalement entre deux cartilages ; l'un des bouts d'un fil attaché à la

boîte était introduit par la plaie en boutonnière et à l'aide d'une aiguille courbe piquée au niveau du point choisi, il était passé au travers de la paroi puis remis à un aide qui avait mission de le tendre pendant que l'opérateur faisait glisser le fond de la petite boîte sur une des lèvres de la plaie en évitant que l'autre lèvre n'essuyât les spores semées sur la gélose. Quand cette boîte était arrivée en place voulue elle y était maintenue par l'aide qui tirait le premier bout de fil pendant que l'opérateur passait le second bout à l'extérieur et au travers de la paroi ; finalement les deux bouts étaient noués solidement. Le stylet retiré, la trachée était suturée par deux fils croisés et fortement serrés; il ne restait plus qu'à recoudre la peau.

Cette méthode était difficilement applicable aux Cobayes, aux Lapins et aux Pigeons dont la trachée est très étroite ; mais je l'ai avantageusement employée avec les Canards et les Oies qui supportent très bien l'opération que j'ai faite plusieurs fois dans de bonnes conditions, et aussi rapidement qu'il était nécessaire pour ne pas introduire de trop grandes différences de temps entre les cultures comparées.

Voyons maintenant le mode d'observation.

Quand l'expérience avait duré assez longtemps, je sacrifiais les animaux en prenant toutes les précautions nécessaires pour isoler les portions de trachée dans lesquelles se trouvaient les cultures, enlever rapidement les petites boîtes et les mettre immédiatement dans l'alcool afin de pouvoir les examiner attentivement plus tard. Nous pouvons ramener cela à ce que j'ai appelé précédemment l'observation indirecte fractionnée dans laquelle on ne fait qu'un seul prélèvement et une seule observation. Pour cette raison l'emploi de cette méthode ne devait pas se faire sans discernement; il nécessitait des essais préalables sur l'attitude des spores de *Sterigmatocystis nigra* dans les diverses conditions que l'on devait comparer. En effet, dans tous les cas où je me suis trouvé, j'avais au moins trois cultures à comparer :

M. — Culture témoin, dans l'air saturé de vapeur d'eau, placée dans une étuve réglée à la température de la trachée des animaux en expérience.

N. — Culture fixée dans la trachée et placée dans une première condition,

O. — Culture fixée dans la trachée et placée dans une deuxième condition.

L'unique prélèvement terminait l'expérience ; l'unique observation pouvait nous placer dans quatre cas qu'il est utile d'étudier. Pour la facilité de la discussion, supposons que les spores ne germent pas avec la même vitesse dans les cultures, que M germe plus vite que N et que la germination de N se fasse plus rapidement que celle de O.

Un premier cas est celui où les animaux sont sacrifiés, c'est-à-dire où le prélèvement est fait, avant que la germination soit commencée en M. L'expérience est inutile ; elle ne nous indique rien sur l'attitude relative des spores. On pourra éviter ce cas en surveillant la culture témoin, et en la soumettant à l'observation indirecte fractionnée avec de nombreuses observations successives.

Un second cas est celui où le prélèvement est fait après la germination de M, mais avant la germination de N. L'expérience est incomplète ; car si elle nous indique que M germe plus rapidement que N et que O, elle ne nous dit rien sur l'attitude relative de N et de O, elle ne fournit pas le renseignement important.

Dans un troisième cas le prélèvement est fait au moment où les spores sont germées dans M et dans N, mais avant la germination de O. L'expérience est intéressante, car elle donne le résultat cherché avant tout, l'attitude relative des spores dans les cultures N et O. Elle donne même l'attitude relative des spores dans les cultures M et N à la condition d'interpréter cette attitude comme je vais l'indiquer tout à l'heure. Ce cas serait le meilleur à réaliser, mais il est difficile de faire le prélèvement juste au moment voulu ; le plus souvent on se trouve dans le quatrième cas.

Dans ce quatrième cas le prélèvement est fait au moment où la germination est commencée dans toutes les cultures. Comment tirer une conclusion de l'observation de ces cultures ?

Pour répondre à cette question, voici une expérience complexe faite avec des cultures témoins placées dans une étuve à la température de 39 à 40° et à des états hygrométriques différents dans des flacons ayant la forme de la figure 3.

J'avais préparé quatre séries de 5 flacons chacune ; dans la première série, chaque flacon contenait de l'eau pure pour avoir l'état hygrométrique 1 ; dans la seconde se trouvait une solution à 7 °/₀

de Na Cl pour avoir l'état hygrométrique 0.957 ; dans la troisième une solution de Na Cl à 14 °/₀ pour obtenir l'état hygrométrique 0.915 ; enfin dans la quatrième, chaque flacon contenait une solution de Na Cl à 28 °/₀ donnant l'état hygrométrique 0.831. Ces flacons furent mis à l'étuve pendant la matinée pour que l'atmosphère interne prit l'équilibre hygrométrique voulu et, à midi, des cultures sur gélose de spores comparables furent rapidement suspendues dans ces flacons.

Je commençai l'observation fractionnée à 5 heures du soir et la continuai d'heure en heure jusqu'à 9 heures du soir en enlevant, chaque fois, 4 flacons, à raison d'un flacon par série, et en notant la longueur des tubes mycéliens ; cela fait donc cinq observations qui sont consignées dans le tableau suivant :

OBSERVATIONS	LONGUEUR DES TUBES MYCÉLIENS			
		Solution de Na Cl à		
	Eau pure Culture M	7 °/₀ Culture N	14 °/₀ Culture O	28 °/₀ Culture P
N° 1 à 5 h. du soir	0	0	0	0
» 2 » 6 »	22 μ.	0	0	0
» 3 » 7 »	36 μ.	20 μ.	0	0
» 4 » 8 »	64 μ.	50 μ.	4 μ.	0
» 5 » 9 »	100 μ.	68 μ.	26 μ.	0

Si nous voulons considérer particulièrement les trois séries de cultures : M sur eau pure, N sur solution de Na Cl à 7 °/₀, O sur solution à 14 °/₀ et les quatre premières observations, nous aurons la représentation des quatre cas que j'ai étudiés précédemment et la réponse à la question posée à propos du quatrième cas. L'observation de 8 heures du soir nous montre que la germination est commencée dans les trois cultures, mais les tubes mycéliens sont de longueur très inégale ; c'est le seul renseignement que nous pourrons trouver dans nos expériences sur les animaux. Comment l'interpréter ? Remontons le tableau de l'observation n° 4 à l'observation n° 1 ; nous en tirons d'abord cette conclusion, concordante d'ailleurs avec tout ce qui a été dit sur la germination des spores du *Penicillium glaucum*, que les spores ont germé plus vite sur

l'eau pure que sur les solutions salines, et sur la solution à 7 °/₀ que sur celle à 14 °/₀; nous en tirons ensuite cette autre conclusion que, à une observation quelconque, les tubes mycéliens sont les plus longs dans les cultures où la germination s'est effectuée le plus rapidement.

Par conséquent dans le quatrième cas considéré, celui que nous avons chance de retrouver le plus souvent, la mesure de la longueur des tubes mycéliens nous renseignera sur la vitesse de germination des spores et, par suite, sur l'attitude relative des cultures comparées dans les conditions différentes où elles sont placées.

Il nous suffira de constater que les tubes mycéliens ont 64 μ dans la culture M, 50 μ dans la culture N et 4 μ dans la culture O pour être en droit d'affirmer que la germination s'est faite plus vite en M qu'en N et plus rapidement en N qu'en O. C'est cette loi bien établie ici que j'appliquerai dans mes expériences.

Remarquons, avant de quitter ce tableau, que la germination n'était pas faite à 9 heures du soir dans la culture P sur solution à 28 °/₀, c'est-à-dire à l'état hygrométrique 0.831. Elle ne s'est pas faite davantage dans les 48 heures pendant lesquelles j'ai suivi particulièrement cette culture. Je pense qu'elle ne pouvait pas se faire du tout, parce que0.831 est probablement au-dessous de l'état hygrométrique limite de germination des spores du *Sterigmatocystis nigra* qui, comme je l'ai déjà dit précédemment, est un peu plus élevé que celui du *Penicillium glaucum*.

Pour revenir aux cultures fixées dans la trachée, il fallait donc faire des expériences préalables pour déterminer à peu près le moment où je devais sacrifier les animaux pour faire une observation utile. Chaque recherche particulière sur des animaux différents devait donc comprendre deux périodes : une période d'essais et une période d'expériences définitives.

J'ai employé les Canards placés dans l'air sec et dans l'air humide pour savoir si les spores de *Sterigmatocystis nigra* fixées dans leur trachée, germeront ou non de la même manière dans les deux cas.

J'ai utilisé les Oies dont la trachée est très longue pour vérifier si des spores fixées à des hauteurs différentes, germent également bien.

Comme, dans ces recherches, j'employais des cultures témoins,

j'y ai trouvé les moyens de m'assurer si les spores germent dans la trachée aussi vite que dans l'air saturé à la même température.

§ 1. *Influence de l'humidité de l'air extérieur sur la germination des spores dans la trachée.*

Dans la période d'essais, avec les Canards, j'ai cherché à trouver le temps dans lequel la germination se fait dans les trois cultures théoriques M, N et O, mais de telle sorte que la culture O commence seulement à germer ; j'aurais même voulu trouver le cas où M et N étant germées O ne l'est pas encore. Je n'ai pas eu besoin d'en arriver là, les résultats m'ayant paru suffisamment nets, à un moment donné.

Les Canards 1 et 2, 3 et 4 m'ont servi dans cette période d'essais.

Les Canards 5 et 6 soumis à l'expérience pendant 13 heures 15 à 13 heures 25 ont donné des résultats intéressants que les Canards 7 et 8, mis en expérience pendant 9 heures 25 à 9 heures 40, ont nettement confirmés.

Voyons ces résultats avec les expériences qui les ont fournis.

Canards nos 5 et 6 : Ces Canards ont été trachéotomisés et une boîte culture de *Sterigmatocystis nigra* fixée dans la trachée, en place comparable, au dessous de la glotte. Immédiatement après, le Canard n° 5 a été renfermé dans une cage sèche, le Canard n° 6, dans une cage humide, et ces cages ont été conservées l'une à côté de l'autre à la même température.

Voici en quoi consistaient ces cages :

Une cage cubique en fil de fer, de 40cm de côté, contenait l'animal et se trouvait placée au milieu d'une boîte cubique en bois, de 60cm de côté. Entre la cage et la boîte, l'espace libre était rempli dans un cas par du chlorure de calcium en fragments, dans l'autre par de la mousse humide dont on entretenait l'humidité en y versant de l'eau de temps en temps.

A la fin de l'expérience, les animaux ont été sacrifiés, les petites boîtes cultures retirées et mises dans l'alcool ainsi que les cultures témoins placées dans l'étuve et dans l'air saturé à la température des Canards. La durée de l'expérience, entre la mise en place des cultures et leur mise dans l'alcool, a été de 13 heures 25 pour le Canard n° 5, de 13 heures 15 pour le n° 6, et de 12 heures 30 pour les cultures témoins.

Au microscope, j'ai vu les spores germées dans les trois cultures, mais avec des tubes mycéliens de longueurs inégales comme dans les cultures théoriques M, N et O.

Voici ces longueurs :

Culture témoin ..... 210 μ.
Culture du Canard n° 6 ..... 143 μ.
Culture du Canard n° 5..... 113 μ.

Si nous appliquons la loi des cultures théoriques M, N, O, nous dirons que les spores ont germé plus rapidement dans l'air saturé que dans la trachée des Canards, et plus vite dans la trachée du Canard n° 6, respirant l'air humide, que dans celle du Canard n° 5 respirant l'air sec.

Canards n° 7 et 8 : J'ai réduit la durée de l'expérience faite sur ces Canards. Voici cette durée entre la mise en place des cultures et leur mise dans l'alcool : 8 h. 45 pour les cultures témoins ; 9 h. 40 pour la culture du Canard n° 7 placé dans l'air humide ; 9 h. 25 pour celle du Canard n° 8 placé dans l'air sec.

Les cultures témoins étaient placées dans une étuve réglée à 39°5 à 40° qui est la température anale des Canards. Les cages sont restées dans une serre dont la température a varié de 21° à 22°. Un hygromètre enregistreur, mis successivement dans ces cages à la place des Canards au moment de leur sortie, a donné les mesures suivantes :

Boîte humide..... ... ... 0.86
Boîte sèche..... 0.46

L'observation a montré que les spores étaient encore germées dans les trois cultures et présentaient des tubes mycéliens moins avancés que dans l'expérience des Canards n° 5 et 6 ; ceci se comprend très bien si nous remarquons que la durée de l'expérience a été réduite de plus de trois heures. Mais ce qui est important, c'est que, dans les 3 cultures, la longueur des tubes mycéliens était encore très différente :

Culture témoin ..... 117 μ.
Culture du Canard n° 7 ..... 44 μ.
Culture du Canard n° 8 ..... 19 μ.

La conclusion tirée de l'expérience faite sur les Canards 5 et 6 est donc amplement confirmée par l'expérience des Canards 7 et 8, si nous remarquons que les différences relatives entre les n^{os} 7 et

8 sont de même sens et encore plus grandes que celles que nous avons trouvées entre les nos 5 et 6.

Par conséquent, la germination des spores est sous la dépendance des variations hygrométriques extérieures quand elles sont fixées sur un point de la trachée. Ces spores germent moins vite que dans l'air saturé de vapeur d'eau et, quand l'animal inspire de l'air sec, elles germent moins rapidement que lorsqu'il inspire de l'air humide.

En même temps qu'elles font la démonstration de cette loi et qu'elles mettent en relief le rôle du régime hygrométrique des voies respiratoires dans la germination des spores et dans l'établissement des mycoses, ces expériences confirment mes vues théoriques, mes conceptions de ce régime hygrométrique et les mesures qui m'ont amené à ces conceptions :

Les expériences suivantes donnent des résultats d'une autre forme, mais qui corroborent ceux que j'ai obtenus avec les Canards.

§ 2. *Influence de la hauteur du point de fixation des spores sur leur germination dans la trachée.*

J'ai pensé à utiliser des Oies pour rechercher cette influence en me basant sur la largeur et la longueur de la trachée chez ces Oiseaux. En effet, cette trachée a une section plus ou moins elliptique présentant des diamètres qui varient de 9mm sur 12mm à 12mm sur 16mm ; sa longueur, prise du larynx supérieur au larynx inférieur, varie entre 45 et 50cm. La largeur permettait aussi bien et même mieux que chez les Canards, d'y placer, sans inconvénient, les petites boîtes d'aluminium ; la longueur, d'y fixer des cultures à une distance de 25 à 30cm l'une de l'autre, l'une sous la glotte, l'autre en avant du brechet, et cette distance me paraissait assez grande pour que les tensions de vapeur d'eau de l'air qui frôle ces cultures fussent différentes suffisamment pour déterminer des effets appréciables sur la germination.

J'ai sacrifié successivement quatre Oies dans la période d'essais. A la cinquième expérience, j'ai fait les trachéotomies avec soin pour éviter les effusions de sang, pour placer convenablement les boîtes cultures et cela le plus rapidement possible cependant, pour éliminer les différences de temps dans la mise en place des cul-

tures. L'extraction des boîtes en aluminium a été faite rapidement après avoir sacrifié l'animal.

J'avais donc trois cultures à comparer : une première, fixée dans la partie supérieure de la trachée ; une seconde, beaucoup plus basse, placée en avant du brechet, à 30^{cm} de la première ; la troisième était une culture témoin dans de l'air saturé de vapeur d'eau à la température d'une étuve réglée à 39°5-40°, température anale de l'Oie. Ces trois cultures avaient, entre la mise en place et la mise dans l'alcool, une durée de : 11 heures 35, pour la culture témoin ; 11 heures 45, pour la culture de la partie supérieure de la trachée ; 11 heures 50, pour celle de la partie inférieure de cette trachée.

Au microscope, j'ai vu que la germination était abondante dans les trois cas ; mais que les tubes mycéliens présentaient des longueurs différentes d'une culture à l'autre, comme on peut s'en rendre compte par les chiffres suivants :

Culture témoin	223 μ
Culture du bas de la trachée	146 μ
Culture du haut de la trachée....	110 μ

Le régime hygrométrique des deux points sur lesquels se trouvaient les cultures diffère donc suffisamment de l'une à l'autre pour que ces cultures présentent des différences appréciables dans la germination.

Par conséquent, les spores de *Sterigmatocystis nigra* germent moins rapidement dans la trachée que dans l'air saturé de vapeur d'eau à la température de l'Oie ; sur les points voisins de l'entrée des voies respiratoires elles germent moins rapidement que sur les points situés plus profondément. C'est ce que je voulais démontrer.

J'ai deux remarques à faire concernant cette culture.

La première a trait à la température de la paroi de la trachée ou, encore, de la goutte de gélose ensemencée de spores. On pourrait se demander si cette température est la même pour les deux cultures. En effet, d'une part, l'une est au voisinage de l'entrée des voies respiratoires et frôlée par de l'air dont les tranches successives sont à des températures plus basses que celles qui frôlent la culture inférieure ; si la température des courants d'air influence la température de la paroi, cette dernière température sera un peu

plus basse sous la glotte que devant le brechet ; d'autre part, on pourrait encore penser que la région supérieure du cou est à une température un peu plus basse, parce qu'elle est moins protégée que la région inférieure et parce que celle-ci est plus rapprochée de la masse du corps. Tout cela porterait à croire que les deux points considérées sont à des températures un peu différentes ; que la germination se fait moins rapidement en haut qu'en bas parce que la température est un peu plus faible dans la première position que dans la seconde ; et que, enfin, si les points avaient même température, la germination se ferait avec une vitesse égale dans les deux cas. Mais, en supposant qu'il y ait une petite différence de température, si on élevait la température de la partie supérieure jusqu'à celle de la partie inférieure, la germination présenterait des différences encore plus grandes.

En effet, disons tout de suite que, s'il y a des différences de température, ces différences sont, en tout cas, très faibles et que, au voisinage de l'optimum de température pour la germination, elles sont, d'ordinaire, sans effet appréciable sur la vitesse de l'état de germination ; mais qu'il n'en est pas de même pour l'action hygrométrique comme le montre l'expérience du chapitre V de la deuxième partie de ce mémoire. L'élévation de la température du haut de la trachée aurait pour résultat, en ce qui concerne l'état hygrométrique, d'y augmenter F et, les valeurs de f restant les mêmes, d'y diminuer $\frac{f}{F}$; comme la vitesse de germination augmente ou diminue quand cet état hygrométrique augmente ou diminue, la vitesse de germination diminuerait en haut de la trachée et la différence avec la vitesse de germination de la culture inférieure augmenterait encore au lieu de s'annuler.

Ceci ne ferait que confirmer davantage la conclusion tirée de l'expérience sur l'Oie n° 5. Par conséquent cette remarque elle-même deviendrait favorable à ma théorie, après discussion.

La deuxième remarque m'est suggérée par la lecture de mes notes sur l'expérience actuelle. J'y vois, en effet, que, pendant la durée de l'expérience, les deux gouttes de gélose ont perdu un peu de leur volume de la même manière qu'une goutte de gélose diminue de volume quand on la place dans l'air sec où elle perd de l'eau par évaporation. Les courants d'air de la respiration

seraient donc un peu desséchants. C'est ce que démontreraient aussi toutes mes cultures dans la trachée et les résultats suivants que j'ai déjà donnés, mais sur lesquels je reviens pour compléter mon exposé méthodique.

§ 3. — *Différence entre la germination des spores dans l'air saturé de vapeur d'eau et dans la trachée.*

La comparaison des cultures témoins aux cultures placées dans la trachée a toujours montré que les spores germent beaucoup moins vite dans la trachée que dans l'air saturé de vapeur d'eau, à la même température. C'est ce que démontrent les chiffres obtenus dans les expériences avec les Canards et avec les Oies, bien que la durée des cultures dans l'air saturé se soit toujours trouvée plus courte que dans la trachée. Je rappelle les mesures des tubes mycéliens prises à la fin des expériences et donnant une idée approximative des vitesses de germination, conformément à la loi tirée des cultures théoriques M, N, O, considérées dans le quatrième cas.

Canards n° 5 et n° 6	dans l'air saturé.....	210 μ
	dans la trachée n° 5.....	113 μ
	dans la trachée n° 6.....	143 μ
Canards n° 7 et n° 8	dans l'air saturé.....	117 μ
	dans la trachée n° 7.....	44 μ
	dans la trachée n° 8.....	19 μ
Oie n° 5	dans l'air saturé.....	223 μ
	dans le haut de la trachée..	110 μ
	dans le bas de la trachée...	146 μ

En résumé, ces expériences démontrent que les spores germent moins rapidement dans la trachée des animaux que dans l'air saturé de vapeur d'eau à la même température ; que la germination des spores dans la trachée est sous la dépendance de l'humidité de l'air extérieur et qu'elle se fait plus vite dans l'air humide que dans l'air sec ; que, dans une même trachée, la germination est sous la dépendance de la hauteur du point sur lequel ces spores sont placées et qu'elle se fait plus lentement au voisinage de l'entrée que dans les parties plus profondes.

C'est cette conclusion que m'avaient fait entrevoir les mesures

de la tension de vapeur d'eau dans l'air expiré et les expériences sur la germination des spores dans l'air en mouvement.

Mes vues théoriques sont donc pleinement confirmées.

Elles se réalisent dans les voies respiratoires vivantes comme je les avais déjà réalisées dans un système de canaux inertes.

Les conclusions tirées de l'étude du régime hygrométrique des voies respiratoires de l'Homme s'appliquent donc assez bien au régime hygrométrique des Oiseaux. N'est-il pas légitime d'en tirer, en retour, que les conclusions des cultures faites chez les Oiseaux peuvent s'appliquer aux voies respiratoires de l'Homme ?

Nous voyons alors le rôle que le régime hygrométrique de l'Homme peut jouer dans l'établissement des mycoses. En effet, nous savons qu'il varie et comment il varie suivant les circonstances intérieures et extérieures ; nous savons que ces variations peuvent être telles que la germination des spores est très retardée ou peut le devenir, si nous intervenons pour modifier les circonstances. Comme tout ce qui agit sur la germination des spores agit de la même manière sur l'établissement des mycoses, ce régime hygrométrique intervient donc dans l'établissement de ces mycoses et, chose très intéressante, il intervient dans une mesure que nous pouvons modifier.

Au point de vue de l'importance que présente cette étude, on ne manquera pas de me faire l'objection suivante : les expériences dans lesquelles j'ai fixé mes boîtes cultures dans la trachée, ajoutent quelque chose aux expériences dans les canaux inertes, elles se rapprochent davantage de ce qu'on trouve dans les voies respiratoires naturelles ; mais ce ne sont pas encore les conditions normales et les résultats ne sont pas applicables à ces voies naturelles parce que, en outre du régime hygrométrique, il intervient un nombre assez grand d'agents locaux chimiques, physiques ou mécaniques dont mes boîtes de gélose supprimaient plus ou moins l'action.

Je fais deux parts dans ma réponse à cette objection.

La première est celle-ci. Je désirais, avant tout, vérifier dans mes expériences les vues théoriques auxquelles m'avaient amené les études qui font l'objet de la première et de la deuxième partie de ce mémoire ; je voulais mettre en relief l'action de l'un des agents qui interviennent, selon moi, dans la germination des

spores introduites dans les voies respiratoires, le régime hygrométrique, et, pour cela, il me fallait, de toute nécessité, éliminer ou neutraliser l'action des autres agents, c'est ce que j'ai fait et j'ai atteint mon but. En effet, nous pouvons affirmer maintenant que le régime hygrométrique des voies respiratoires est un agent actif dans l'établissement des mycoses et un agent dont l'activité est modifiable à notre gré, au moins dans une certaine mesure. C'est ce que démontre amplement tout ce qui précède et je pourrais me contenter d'avoir fait cette démonstration. Mais, puisque mes notes renferment quelques indications qui me permettent de répondre encore expérimentalement à l'objection précédente, je vais les présenter et ce sera la seconde part de ma réponse.

Dans plusieurs expériences faites suivant les méthodes d'inhalation et d'insufflation, la recherche des spores dans les voies respiratoires m'a amené à constater la présence de spores germées dans les bronches et dans les bronchioles, avec des tubes mycéliens plus ou moins développés, mais d'ordinaire plus longs que dans la trachée, quand j'en retrouvais qui étaient germées dans cette trachée. Je n'ai pas songé à utiliser sérieusement ces résultats parce que je ne savais pas exactement où cette germination s'était faite. Et pourtant j'aurais pu dire que la germination se fait plus vite dans les bronches que dans la trachée et j'aurais eu la conclusion que je ne me suis cru autorisé à donner qu'après l'expérience de l'Oie n° 5 : les spores situées dans les parties profondes des voies respiratoires germent plus rapidement que celles qui sont restées dans les parties plus voisines de l'entrée.

En ce qui concerne l'action de l'humidité plus ou moins grande de l'air extérieur, voici une série d'expériences assez intéressante. Plusieurs Pigeons avaient reçu des spores par insufflation à travers la glotte, les uns avaient été placés dans la cage humide, les autres dans la cage sèche dont j'ai parlé à propos des Canards. Ces Pigeons furent sacrifiés les uns après 24 heures, les autres après 48 heures d'expérience. Voici la longueur de quelques tubes mycéliens trouvés dans les bronches de trois de ces Pigeons :

N° 8, dans l'air sec, pendant 24 heures . . . . 25 μ.
N° 11, dans l'air humide, pendant 24 heures . . 66 μ.
N° 10, dans l'air humide, pendant 48 heures . . 100 μ.

La comparaison de ces chiffres pourrait fournir trois conclusions.

La première serait que les spores germent, dans les bronches, bien moins rapidement que dans l'air saturé de vapeur d'eau à la même température, si on se rappelle la vitesse avec laquelle les cultures M, N, O, P, ont germé ; mais elle ne peut se tirer de cette seule expérience parce qu'il faudrait faire la part du substratum et des autres agents locaux. La deuxième serait que la germination des spores, dans les bronches des Pigeons, se fait plus vite quand ces Pigeons vivent dans l'air humide que quand ils vivent dans l'air sec ; mais le défaut de fixité des spores ne me permet pas d'affirmer nettement cette conclusion. Enfin, la troisième serait que les spores germent dans les bronches et donnent des tubes mycéliens qui continuent à s'y développer pendant au moins 48 heures, bien que le développement soit beaucoup plus lent que dans les cultures dans l'air saturé de vapeur d'eau à la même température ; cette conclusion serait la mieux établie des trois.

Voici une autre expérience faite avec deux Pigeons placés l'un dans la cage sèche, l'autre dans la cage humide, après avoir reçu des spores insufflées dans la trachée et sacrifiés environ 17 h. 1/2 après cette opération.

Parmi les spores retrouvées dans les bronches, il y en avait qui étaient germées et possédaient un tube mycélien dont la longueur moyenne est donnée par les chiffres suivants :

N° 15, dans l'air sec..... 21 μ.
N° 16, dans l'air humide..... 46 μ.

Il y a certainement une différence dans la longueur de ces tubes mycéliens, et une différence notable même ; mais je suis tenu à une grande réserve dans la conclusion à en tirer. Ces spores ont-elles germé véritablement sur les points où je les ai trouvées ? Je ne puis pas l'affirmer. Cependant, après l'expérience précédente qui donne des résultats de même sens et surtout après les expériences sur les Canards 5 et 6, 7 et 8, je suis amené à dire qu'il est probable que cette différence tient à l'influence du degré d'humidité dans l'air extérieur.

En somme, ces expériences et d'autres que je ne veux pas citer, donneraient les mêmes conclusions que celles qui ont été tirées des expériences dans lesquelles j'employais des boîtes d'aluminium contenant des cultures sur gélose et fixées en des points bien

déterminés de la trachée. Mais ces conclusions ne sont pas établies d'une manière aussi indiscutable qu'avec les boîtes cultures, voilà pourquoi je n'insiste pas sur les expériences qui les ont données.

Toutefois, il n'est pas sans intérêt de voir que, même dans des conditions discutables, défectueuses, les variations dans la germination des spores inhalées dans les bronches amèneraient sensiblement aux mêmes conclusions que celles qui sont tirées de mes expériences avec des cultures sur gélose fixées sur la paroi interne de cette trachée.

Dans ces conditions, l'objection perd beaucoup de sa valeur et la notion du régime hygrométrique des voies respiratoires comme agent favorable ou défavorable, suivant les circonstances, à la germination des spores et, en conséquence, à l'établissement des mycoses dans ces voies, prend de plus en plus d'importance, surtout si on considère ce régime dans les parties voisines de l'entrée.

Ceci ne retire rien, d'ailleurs, à l'importance particulière de chacun des autres agents locaux qui interviennent favorablement ou défavorablement dans la germination des spores dans les voies respiratoires. Je m'étais proposé d'étudier un de ces agents locaux aussi isolément que possible, afin de mettre en lumière toute son influence; je pense avoir réussi pour le régime hygrométrique.

RÉSUMÉ & CONCLUSIONS

Ce mémoire comprend plusieurs parties dont nous pouvons avantageusement tirer des remarques et des conclusions dignes d'attirer l'attention d'une manière toute spéciale pour chacune d'elles.

§ 1. — *Hygromètre respiratoire.*

En ce qui concerne mon hygromètre respiratoire, nous avons vu qu'il permet de mesurer assez rapidement la tension de vapeur d'eau la plus élevée dans l'air expiré, c'est-à-dire celle de la dernière portion d'air expiré ; que cette tension varie avec la profondeur d'où elle provient et avec les conditions intérieures et extérieures à l'Homme.

On peut se demander s'il est possible d'obtenir des mesures

comparables sur le même sujet, dans des conditions différentes, et sur plusieurs sujets, dans les mêmes conditions. Je pense que, lorsque les états ou les sujets comparés présenteront de légères différences, il sera difficile d'utiliser cet hygromètre parce que, dans une même séance, le sujet, plus ou moins ému par l'opération, pourra modifier légèrement les résultats en exagérant l'expiration dans un sens ou dans l'autre ; mais lorsque les différences dans le régime hygrométrique seront considérables, en surveillant et en disciplinant bien le sujet, on obtiendra des résultats capables de supporter la comparaison et l'hygromètre pourra rendre des services.

Alors, par ses mesures rapides, il réalisera un grand avantage sur tous les moyens employés jusqu'à présent pour suivre les variations de la transpiration pulmonaire dans l'état normal ou dans l'état pathologique. C'est de cette manière que mon hygromètre pourra rendre des services à la physiologie humaine et à la médecine. Je souhaite que la réussite couronne les efforts des personnes autorisées qui ont bien voulu me faire l'honneur d'essayer mon instrument.

§ 2. — *Régime hygrométrique des voies respiratoires de l'Homme.*

Je ne reviendrai pas sur le peu de connaissances précises que nous avions jusqu'en ces derniers temps sur ce régime. L'emploi de l'hygromètre respiratoire permet de le suivre de très près et d'en donner une allure générale que la raison pouvait concevoir de la même manière qu'elle conçoit le régime calorique dans l'air qui circule dans les courants de la respiration, mais qu'aucune expérience directe n'était venue démontrer.

Voici cette allure générale :

L'air qui circule dans les voies respiratoires n'est jamais complètement saturé de vapeur d'eau à sa température, dans quelque région qu'on le considère. Dans l'air expiré, la tension de la vapeur d'eau augmente de celle de la première tranche sortie à celle de la dernière tranche qui sort à la fin de l'expiration. Si on considère un point de la paroi de ces voies, on conçoit facilement qu'il est frôlé par deux courants inverses d'air dans lequel la tension de la vapeur d'eau varie de f_4 à f_2 dans l'inspiration et de

f_2 à f_4 dans l'expiration, la tension f_2 ayant une valeur comprise entre la tension f_1 de la vapeur d'eau dans l'air extérieur et la tension f_3 mesurée par l'hygromètre dans l'expiration normale ; la tension f_4 ayant une valeur comprise entre les tensions mesurées par l'hygromètre et qui sont f_3 dans l'expiration normale et f_5 dans l'expiration prolongée ou l'expiration forcée. Si on considère un point de plus en plus rapproché des fosses nasales, les valeurs des tensions f_2 et f_4 diminuent et tendent vers f_1 et f_3 ; si on considère un point de plus en plus rapproché de l'entrée des bronches dans les poumons, les valeurs des tensions f_2 et f_4 augmentent et tendent vers f_3 et f_5. Enfin les valeurs de ces diverses tensions, en particulier celles de f_3 et f_5, varient quand la quantité de vapeur d'eau varie dans l'air extérieur et varient aussi quand l'état du sujet change.

§ 3. — *Germination des spores dans l'air humide.*

En étudiant la germination des spores de *Penicillium glaucum* et de *Sterigmatocystis nigra* maintenues dans l'air humide, j'ai été amené à vérifier, de plusieurs manières, que cette germination dépend moins de la quantité absolue de vapeur d'eau dans l'unité de volume d'air que de l'état hygrométrique de cet air.

La vitesse de germination augmente quand l'état hygrométrique augmente ; elle diminue quand l'état hygrométrique diminue, jusqu'à un certain état hygrométrique limite au-dessous duquel la germination ne se fait plus. Cet état hygrométrique limite serait compris entre 0,84 et 0,82 pour le *Penicillium glaucum* et se trouverait un peu plus élevé pour le *Sterigmatocystis nigra*.

Cette loi de l'état hygrométrique s'applique aussi bien à des spores placées dans l'air humide au repos qu'à celles qui sont dans l'air en mouvement, aussi bien aux cultures fixées à la paroi d'un tube de verre qu'à celles qui flottent sur une nappe d'eau.

Quand l'air humide est en mouvement, la vitesse de germination, tout en restant sous la dépendance de l'état hygrométrique, est aussi sous la dépendance de la tension de la vapeur d'eau dans l'air qui se meut et de la vitesse de translation de cet air. Si on fait alterner sur les spores un courant d'air relativement sec avec un courant d'air humide, la vitesse de germination dépend de la tension de la vapeur d'eau dans l'air des courants, de la vitesse

absolue de ces courants et de leur vitesse relative, c'est-à-dire de la durée relative de leur passage sur ces spores.

§ 4. — *Germination des spores chez l'Homme, ses rapports avec le régime hygrométrique des voies respiratoires.*

En examinant les crachats de personnes vivant dans la poussière qu'elles inhalent avec les spores qu'elle contient, j'ai constaté qu'ils renferment des spores, que ces spores sont germées dans certains cas, ne le sont pas dans d'autres. Par l'observation indirecte fractionnée, faite le soir et le lendemain matin, j'ai vérifié que les spores germent bien chez l'Homme et, même, que le mycélium continue à s'y développer. De la comparaison des cas où la germination des spores a été constatée aux cas où il était impossible de trouver des spores germées parmi celles que contenaient les crachats, il ressortirait que la non germination ne tient pas aux spores elles-mêmes, mais peut-être à des conditions spéciales du régime hygrométrique des voies respiratoires, conditions moins favorables à la germination chez les sujets à crachats dépourvus de spores germées, conditions plus favorables à la germination chez les personnes à crachats contenant des spores germées.

§ 5. — *Germination des spores chez les animaux, ses rapports avec le régime hygrométrique des voies respiratoires.*

Si nous admettons que le régime hygrométrique des voies respiratoires des animaux présente la même allure générale que celui de l'Homme, et les expériences le démontrent indirectement, les résultats obtenus avec ces animaux peuvent être appliqués aux voies respiratoires de l'Homme.

Voici ces résultats : Si, à l'aide de petites boîtes d'aluminium contenant une goutte de gélose, nous fixons invariablement des spores de *Sterigmatocystis nigra* sur des points déterminés de la trachée de quelques Oiseaux, la germination se fait moins vite que dans l'air saturé de vapeur d'eau à la température du corps de ces Oiseaux. Elle est sous la dépendance de la quantité de vapeur d'eau dans l'air extérieur et de la hauteur des points sur lesquels ces spores sont fixées : la vitesse de la germination est d'autant plus

grande que l'air extérieur est plus humide ; elle est encore d'autant plus grande que les points sur lesquels sont fixées les spores, se trouvent plus enfoncés dans les voies respiratoires. Ces variations de vitesse concordent exactement avec les variations du régime hygrométrique de ces voies et démontrent rigoureusement son influence immédiate.

Je suis arrivé à la même démonstration dans des expériences d'insufflation et d'inhalation des spores chez les Pigeons, pour placer ces spores dans les conditions de l'inhalation ordinaire chez les animaux et supprimer l'artifice des cultures en boîtes d'aluminium ; mais cette démonstration est contestable parce que, les spores n'étant plus fixées invariablement et le régime hygrométrique variant avec la hauteur des points de la trachée, nous ne pouvons plus apprécier aussi rigoureusement le rôle de ce régime dans la germination de spores qui se sont déplacées pendant la durée des expériences.

Quoi qu'il en soit et de quelque manière qu'elle ait été faite, la démonstration est nettement établie que le régime hygrométrique des voies respiratoires a une influence marquée sur la germination des spores amenées dans la trachée et dans les bronches et, par conséquent, sur l'établissement des mycoses dans ces régions.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction	353
Hygrométrie des voies respiratoires de l'Homme	357
Hygrométrie de l'air expiré	358
Hygrométrie de l'air inspiré	371
Hygrométrie de l'air de la capacité pulmonaire	371
Hygrométrie d'un point de la paroi	372
A, à l'entrée des fosses nasales	373
B, à l'entrée des bronches dans les poumons	373
C, en un point intermédiaire entre A et B	374
Germination des spores dans l'air humide	376
Germination des spores dans une atmosphère confinée reposant sur des solutions de chlorure de sodium et dans laquelle f et F varient proportionnellement, de telle sorte que $\frac{f}{F}$ reste constant	378

Pages

Germination des spores dans une atmosphère au repos où f reste constant, alors que F change, où, par conséquent, $\frac{f}{F}$ augmente ou diminue quand F diminue ou augmente. 383

Germination des spores dans une atmosphère en mouvement où f reste sensiblement constant quand F change; $\frac{f}{F}$ augmente ou diminue quand F diminue ou augmente. 385

Germination des spores dans une atmosphère en mouvement dans laquelle F reste constant, mais où f prend des valeurs différentes; $\frac{f}{F}$ augmente au diminue quand f augmente ou diminue. 389

Germination des spores dans une atmosphère en mouvement où f et F varient sans rester proportionnelles et, par conséquent, dans laquelle $\frac{f}{F}$ varie en même temps 395

Germination des spores flottant sur l'eau dans une atmosphère en mouvement. 398

Sur le degré de possibilité de la germination des spores dans les voies respiratoires de l'Homme 405

Possibilité de la germination des spores en B. 405

Possibilité de la germination des spores en C. 408

Possibilité de la germination des spores dans les parties antérieures des voies respiratoires. 409

Germination des spores dans les voies respiratoires de l'Homme et des animaux. 410

Germination des spores chez l'Homme 411

Germination des spores chez les animaux 421

§ 1. — Influence de l'humidité de l'air extérieur sur la germination des spores dans la trachée. 429

§ 2. — Influence de la hauteur du point de fixation des spores sur leur germination dans la trachée. 431

§ 3. — Différence entre la germination des spores dans l'air saturé de vapeur d'eau et dans la trachée. 434

Résumé et Conclusions. 438

§ 1. — Hygromètre respiratoire. 438

§ 2. — Régime hygrométrique des voies respiratoires de l'Homme. 439

§ 3. — Germination des spores dans l'air humide 440

§ 4. — Germination des spores chez l'Homme, ses rapports avec le régime hygrométrique des voies respiratoires . . . 441

§ 5. — Germination des spores chez les animaux, ses rapports avec le régime hygrométrique des voies respiratoires . . . 441

IMPRIMERIE LE BIGOT FRÈRES.

ARCHIVES DE PARASITOLOGIE

RÉDACTION : *15, rue de l'École-de-Médecine,* PARIS

ABONNEMENT :

Paris et Départements : **30** fr. — Union postale : **32** fr. par volume.

Les *Archives de Parasitologie* publient des mémoires originaux écrits dans l'une ou l'autre des six langues suivantes : français, allemand, anglais, espagnol, italien et latin. Les auteurs doivent, autant que possible, FOURNIR UN TEXTE DACTYLOGRAPHIÉ (*écrit à la machine*), afin de réduire les corrections au minimum.

Ce texte doit être conforme aux règles suivantes :

1° On appliquera strictement les règles de la nomenclature zoologique ou botanique adoptées par les Congrès internationaux de zoologie et de botanique ;

2° On fera usage, tant pour les noms d'auteurs que pour les indications bibliographiques, des abréviations adoptées par ces mêmes Congrès ou par le *Zoological Record* de Londres ;

3° Les noms géographiques ou les noms propres empruntés à des langues qui n'ont pas l'alphabet latin seront transcrits conformément aux règles internationales adoptées par les Congrès de zoologie ;

4° Tout nom d'être vivant, animal ou plante, commencera par une première lettre capitale ;

5° Tout nom scientifique latin sera imprimé en italiques (souligné une fois sur le manuscrit).

Dans l'intérêt de la publication et pour assurer le maximum de perfection dans la reproduction des planches et figures, tout en supprimant des dépenses inutiles, nos collaborateurs sont priés de se conformer aux règles suivantes :

1° Dessiner sur papier ou sur bristol bien blanc.

2° Ne rien écrire sur les dessins originaux.

3° Toutes les indications (lettres, chiffres, explication des figures, etc.) seront placées sur un calque recouvrant la planche ou le dessin.

4° Abandonner le plus possible le crayon à la mine de plomb pour le crayon Wolf ou l'encre de Chine.

Les Auteurs d'articles insérés aux *Archives* sont instamment priés de renvoyer à M. le Dr J. GUIART, Secrétaire de la rédaction, *dans un délai maximum de huit jours*, les épreuves corrigées avec le manuscrit ou l'épreuve précédente.

Ils recevront gratis 50 tirés à part de leur article. Ils sont invités à faire connaître sans délai s'ils désirent en recevoir un plus grand nombre (50 au maximum), à leurs frais et conformément au tarif ci-dessous. Ce tarif ne vise que l'impression typographique ; il ne concerne point les planches, dont le prix peut varier considérablement. Toutefois, il importe de dire que, pour les exemplaires d'auteurs, les planches seront comptées strictement au prix de revient.

Les tirés à part ne peuvent être mis en vente.

TARIF DES TIRÉS A PART

	25 ex.	50 ex.
	—	—
Une feuille entière	6 fr. 30	8 fr. 20
Trois quarts de feuille	5 40	7 »
Une demi-feuille	4 50	5 75
Un quart de feuille	3 85	5 10
Un huitième de feuille	2 90	3 85
Plusieurs feuilles . . . . . La feuille.	6 10	7 85

Le Gérant : F. R. de RUDEVAL.

LILLE. — Imp. LE BIGOT Frères.